

# 2018 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

- 作品編號 180009
- 參展科別 地球與環境科學
- 作品名稱 雙眼牆颱風侵臺路徑北偏現象之探討
- 得獎獎項 大會獎：四等獎  
美國氣象學會獎
- 就讀學校 臺北市立建國高級中學
- 指導教師 郭鴻基、葉昭松
- 作者姓名 鍾承成、任璿洋
- 關鍵詞 雙眼牆、侵臺颱風、北偏現象

## 作者簡介



我們是來自臺北市立建國高級中學的鍾承成(右)和任璿洋(左)。

鍾承成：基隆人可是對海鮮過敏，從國中開始就很喜歡「追風」，常常上臺灣颱風論壇，除了因此得到許多颱風知識外，上高中後也開始做起有關颱風的專題研究。

任璿洋：原本的興趣在物理與天文，由於興趣廣泛而被同學拉進颱風的科展，慢慢的也因此對颱風感到有趣。

## 摘要

本研究由近年來部分在登陸前產生雙眼牆（CE）結構的西行侵臺颱風發生實際路徑較預報路徑偏北的現象為發想。利用中央氣象局颱風資料庫，統計出發生北偏之西行颱風及其北偏幅度，並找出各種會影響颱風路徑的因素，將其一一量化後進行分析。

我們發現颱風之暴風圈半徑以及其是否有雙眼牆對颱風的北偏效應有顯著的影響，至於夫如數、背風渦旋強度等則有較小的影響力。

我們根據北偏效應，認為造成第四類路徑中產生雙眼牆結構者特別少的緣故，是因為許多原先為四類路徑的颱風因北偏轉至三類；我們也意外發現八、九類颱風完全沒有雙眼牆颱風，推測是南海空間及熱量問題。

我們也發現具有雙眼牆結構之颱風在登陸時，測站會測到兩個氣壓谷值，因此發現雙眼牆結構颱風在登陸時結構的不對稱性，未來可以此為依據量化雙眼牆結構。

## Abstract

Our research was inspired by some concentric eyewall typhoons (or CE typhoons) which appeared phenomenon that the place which the typhoon actually landed was usually more northern than the point forecast predicted while landing Taiwan from the east, and we temporarily called it “north-lift” phenomenon. Using the Typhoon Database built by Central Weather Bureau (or CWB), we made statistics of the landing bias between forecast and (or “north-lift amplitude” ) those typhoons which landing Taiwan from the east, and find out factors which may influences the path of these typhoons. Then, quantify all the factors and analyze the relationship between the factors and the north-lift amplitude.

We discovered that the storm radius of the typhoons and whether the typhoon has concentric eyewalls or not have great influences on north-lift amplitude, Froude number and leeside vortex provide small influence instead.

According to the north-lift phenomenon, we speculate that the reason why there are fewer CE typhoons in the No.4 landing path is because most of them got a north-lift and walked into the No.3 landing path. By the way, we unexpected discovered that there are no CE typhoons in No.8 and No.9 landing path. We considered that the South China Sea is not big enough and hot enough lead to the result.

Also, we discovered that the station near the landing point of the CE typhoons measured two valleys while the typhoon is landing. The result shows the asymmetry of these CE typhoons, and we maybe can quantify typhoon eyewall structures according to this discovery.

# 壹、前言

## 一、研究動機

我們對「追風」充滿著濃厚的興致，在這兩、三年來侵臺的颱風中，我們發現一個有趣的現象：許多颱風在靠近臺灣的時候都有產生 CE(雙眼牆結構)，且準備登陸前，路徑大多都有預期之外的北偏(也就是預報出現了向南的偏差)，最後常比中央氣象局所預報的登陸點還偏北數十公里。我們非常好奇：是否所有西行的颱風都有發生北偏現象？颱風北偏是因為甚麼機制？雙眼牆結構究竟跟颱風路徑有甚麼關聯？我們由此發想，開始了以下的研究。

## 二、研究目的及研究問題

- (一) 統計在接近臺灣時有產生北偏的西行颱風。
- (二) 嘗試找尋造成颱風路徑改變的可能原因，並且以各種方法將所有篩選出的原因量化。
- (三) 利用統計方法將量化的原因進行統計，以了解何種原因對我們欲研究的北偏影響最大。

# 貳、研究方法及過程

## 一、研究設備及器材

- (一) 軟體：Google 試算表、PowerPoint 簡報、臺灣颱風論壇、Microsoft Excel。
- (二) 採用之資料庫：中央氣象局颱風資料庫 CWB (Central Weather Bureau)、GFS / NCEP / US National Weather Service、中國文化大學劉清煌教授的 CCU/SSL Databank (Chinese Culture University Department of Atmospheric Sciences Severe Storm Laboratory)、美國海軍研究實驗室海洋氣象部門資料庫 NRL-MMD (Naval Research Laboratory Marine Meteorology Division)。

## 二、研究過程

### (一) 搜尋需進行研究的颱風：

1. 搜尋中央氣象局歷史颱風資料庫，將 2003 年至 2016 年路徑為 2、3、4 和 5 的所有颱風列表列出，同時找出其強度和風圈等基本資訊，觀察其

中關係。

(二) 定義北偏幅度：

1. 進入中央氣象局歷史颱風資料庫，找出指定颱風的颱風警報單。
2. 取預測 24 小時後中心會觸陸的第一報，記錄下它預測的登陸緯度(如 Fig.2-1 中之例，接近花蓮的那個中間有十字架的圓圈就是中央氣象局預測此颱風 24 小時後會在圓圈位置登陸，研究中記錄此緯度作為資料；大約在東經 126 線上的黑色點即為颱風當時位置)。

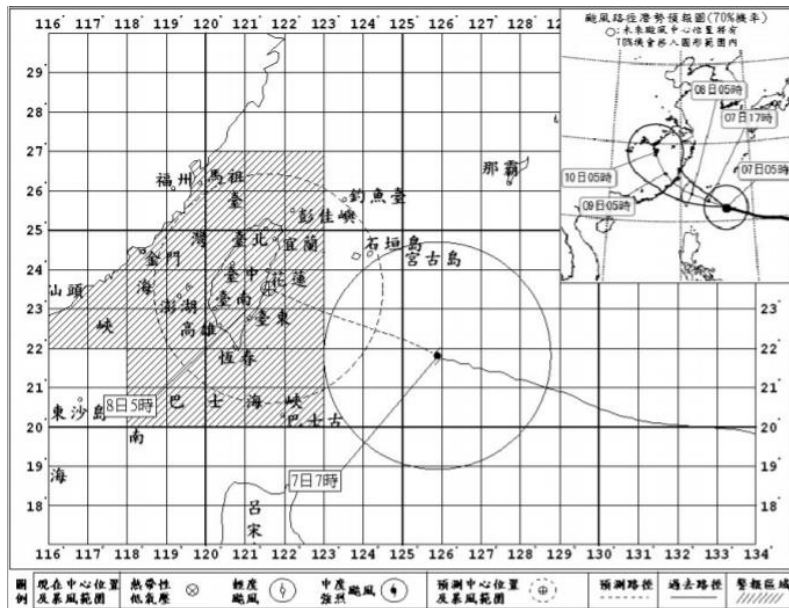


Fig.2-1 預測 24 小時後登陸之預報

- 再找出最後登陸的緯度，將實際登陸緯度減去預測登陸緯度，得到的緯度差，定義為北偏的幅度(如 Fig.2-2 中之例)。

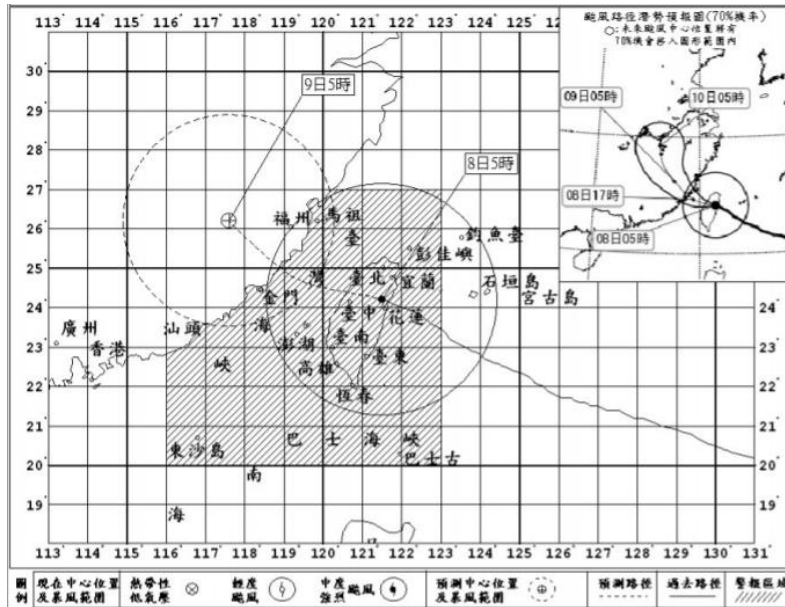


Fig.2-2 颱風登陸時的緯度

- 本研究中，將「計算颱風登陸前 48~24 小時前的平均速度向量，將其在地圖上直線延伸，也就是假定颱風以慣性前進，所碰觸到陸地的登陸點」定義為慣性預報的登陸點。將颱風真正登陸點的緯度減去此慣性預報的登陸點即為此颱風真正且精準的北偏幅度。

然而計算所有颱風之慣性預報登陸點並非易事，因此我們採取其中幾個具有代表性的個案，計算其慣性預報登陸點後發現與中央氣象局的模式預報登陸點位置相近，因此先行採用模式預報點作為目前研究的北偏幅度計算方式。

(三) 判斷列入表中的西行颱風是否有產生雙眼牆結構(Concentric Eyewall, CE)：

1. 由 CWB 颱風資料庫搜尋目標颱風侵臺時間。
2. 依時間至颱風資料庫調閱出所需雷達圖，判斷颱風在登陸前是否產生 CE 結構(有產生 CE 結構者如 Fig.2-3 所示)。

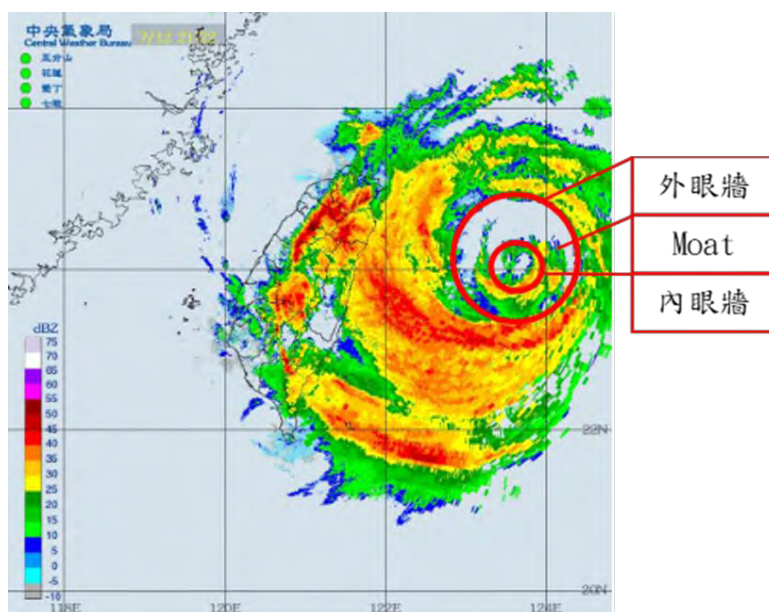


Fig.2-3 於雷達圖中判別是否有 CE 結構

3. 若雷達圖不清楚或無法確切判斷，則進入美國海軍的 NRL 資料庫調閱出該颱風的微波掃描圖以利判斷(如 Fig.2-4 所示)。

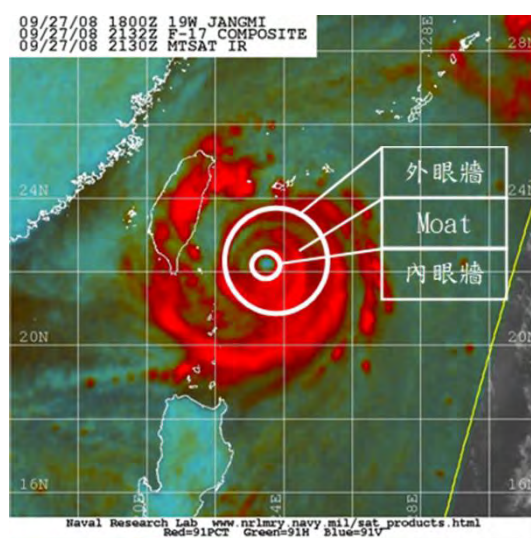


Fig.2-4 於微波掃描中判別是否有 CE 結構

4. 若文獻有此目標颱風的相關資料，將我們所判斷出之結果與文獻進行比對，再次確認判斷無誤。



5. 建立一張西行侵臺颱風有產生 CE 結構的表格。
6. 將各類路徑有產生 CE 個案的個數與比例表列，以利後面研究。

(四) 找尋可能影響颱風路徑的各種環境因素，並將其量化後個別分析。

1. 藉由查詢文獻、蒐集資料及訪問專家等方式，列出有可能影響颱風路徑的各種因素。
2. 依尺度大小以及影響颱風路徑偏轉的方向等條件，篩選出最可能造成颱風向北偏轉的因素，並將其列表。
3. 以各種不同方法(例如：直接計算、簡單模擬、測站資料等)將所有因素一一量化。
4. 將量化後的結果一一對北偏幅度進行繪圖及擬和，並將其中有 CE 結構的颱風以不同顏色標註，觀察這些因素是否對颱風的北偏有直接影響，以及他們對結構不同的颱風之影響有何差異。

## 參、研究結果與討論

一、首先，先對本研究中部份名詞與判別方法進行定義：

(一) 北偏幅度：

在眾多預報單中，會有其中一報，其中中央氣象局預測於此預報發布時間後 24 小時，颱風會由「某預測位置」登陸臺灣。將颱風實際登陸的緯度，減去此「預測位置」所在的緯度，即為我們的「北偏幅度」。

二、統計在西行颱風中，有登陸臺灣、路徑為 2/3/4/5 類者，計算其北偏幅度，統整為下列表格(以下表格以 7 級風半徑大小排序)：

年分	名稱	侵臺 路徑	近臺 強度	最大 風速	7 級風 半徑	預報 登陸緯	實際 登陸緯	北抬 幅度
2006	碧利斯	2	輕度	25	300	23.75	24.9	1.15
2015	蘇迪勒	3	中度	45	300	23.5	24.2	0.7
2008	薔蜜	2	強烈	53	280	23.65	24.5	0.85
2013	蘇力	2	強烈	51	280	24.6	25	0.4
2005	泰利	3	強烈	53	250	24	24.1	0.1
2007	聖帕	3	強烈	53	250	22.7	23.5	0.8
2009	莫拉克	3	中度	40	250	24.3	23.9	-0.4
2016	梅姬	3	中度	45	250	23.3	24	0.7
2008	鳳凰	3	中度	43	220	23.1	23.4	0.3
2015	杜鵑	2	強烈	51	220	24.35	24.4	0.05
2005	龍王	3	強烈	51	200	23.7	23.7	0
2006	凱米	3	中度	38	200	23.1	23	-0.1
2010	凡那比	4	中度	45	200	23.7	23.5	-0.2
2014	麥德姆	3	中度	38	200	24.15	23.3	-0.85
2016	尼伯特	4	強烈	58	200	23.1	22.7	-0.4
2011	南瑪都	4	強烈	53	180	23	22.3	-0.7
2007	帕布	4	輕度	28	150	23.2	22.1	-1.1
2003	莫拉克	4	輕度	23	100	22.1	22.3	0.2
2007	梧提	3	輕度	18	100	23.5	23.4	-0.1

Chart.3-1 北偏幅度統計表

觀察上述表格，不難看出風圈比較大的颱風北偏幅度大多較風圈小的颱風大。此外，平均上來說，風圈大小與其颱風強度有正相關性。

三、統計 Chart.3-1 中，有 CE 的颱風為何者：

年分	名稱	CE 與否	北抬 幅度
2003	莫拉克		0.2
2005	泰利	CE	0.1
2005	龍王		0
2006	碧利斯		1.15
2006	凱米		-0.1
2007	聖帕	CE	0.8
2007	帕布		-1.1
2007	梧提		-0.1
2008	薔蜜	CE	0.85
2008	鳳凰		0.3

年分	名稱	CE 與否	北抬 幅度
2009	莫拉克		-0.4
2010	凡那比		-0.2
2011	南瑪都		-0.7
2013	蘇力	CE	0.4
2014	麥德姆		-0.85
2015	蘇迪勒	CE	0.7
2015	杜鵑		0.05
2016	尼伯特		-0.4
2016	梅姬	CE	0.7

Chart.3-2 登陸前出現 CE 結構的西行颱風

四、篩選有可能造成颱風北偏的因素。以下為我們選用的因素、選用之大略猜想，以及其量化方法：

(一) 背風渦旋(leeside vortex)。

先前在論文中(葉天降等，2007)有找到關於西行颱風在中央山脈西側產生一背風渦旋，導致颱風產生打轉等行為。因此，我們想測試此背風渦旋是否與颱風的北偏效應有關。

我們藉由觀察「EARTH」資料庫(其資料由 GFS / NCEP / US National Weather Service 取得)中颱風登陸當日的風場變化圖，發現了山脈西側的低壓，並猜測其為造成颱風北偏的原因之一，如 Fig.3-1 所示：

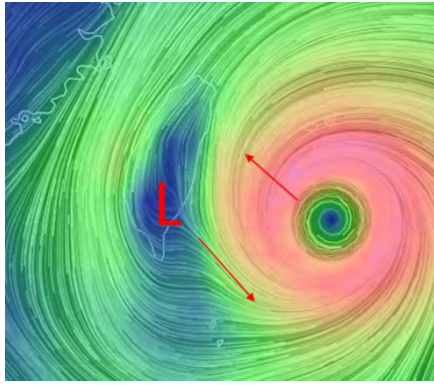


Fig.3-1-1

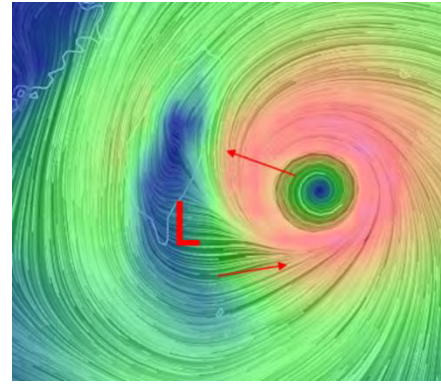


Fig.3-1-2

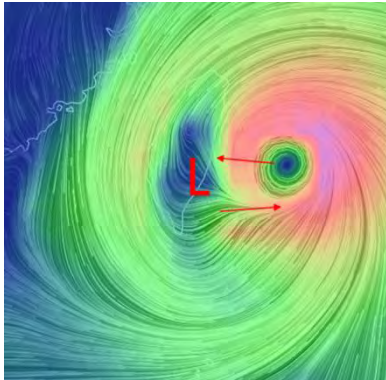


Fig.3-1-3

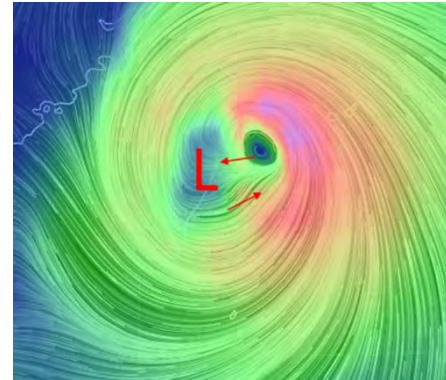


Fig.3-1-4

為了瞭解背風渦旋與北偏效應的關聯，我們決定採用「可能的背風渦旋」位置上的地面測站所取得之風速資料，減去測站本身的長年以來的月平均風速，為此背風渦旋之強度。

## (二) 副熱帶高壓的位置變化。

由於副熱帶高壓(以下簡稱副高)的移動會造成駛流場的變化，也會造成颱風路徑的變化，而這也是許多颱風路徑改變的原因。因此，我們納入這個因素並嘗試量化。

我們定義 500mb 的高空氣象圖中，5850m 的等高線為副熱帶高壓的勢力範圍。假設 CWB 在某時間公布的警報單中，預測颱風將在 24 小時候登陸臺灣，則我們取此時副高的位置，作為  $x_1$ ；颱風實際登陸時，我們取此時副高的位置，作為  $x_2$ 。我們再取一聖嬰現象不明顯的年份(例如：2014 年)中，7、8、9 月每日的副高經度做平均，作為副高的平均位置。定義副高影響值：

$$\frac{x_2 - x_1}{\sqrt{|avg - x_1||avg - x_2|}}$$

作為副高的量化處理。

### (三) 夫如數 Froude Number。

在文獻中有提到(王時鼎等(1998)、葉天降等(2007))，若定義夫如數  $Fr = U / NH$ ，其中  $U$  為氣流上游之代表性風速， $N$  為 Brunt-Vaisala 頻率， $H$  則為山高，則此夫如數的大小與氣流能否爬過山脈有極大的相關性。而我們認為，若颱風由北繞道山脈西側的氣流爬過山脈回到颱風本身，應會對颱風的路徑產生影響，因此採用此因素進行分析。

我們取登陸前板橋、花蓮以及澎湖的探空氣球測站之歷史資料，並用物理公式計算出 Brunt-Vaisala 頻率，作為  $N$  之量值。但我們也發現無論在何時何地，其探空氣球所測得的 Brunt-Vaisala 頻率皆接近 0.27 (取此三測站共 43 筆資料，平均值  $0.2715 \pm 0.00103$ ，即  $0.2715 \pm 3.808\%$ )，因此若測站由於颱風登陸或其他原因缺失探空資料，我們便以  $N = 0.27$  作為代替。

由於我們討論後認為，可能影響颱風的過山氣流之上游速度應由澎湖測站測量較為準確(因為澎湖地形低矮，且颱風之外圍環流由北部繞山後會經過此地再翻越中央山脈)，因此  $U$  為颱風登陸前幾小時內，東吉島測站所測得之十分鐘內最大平均風速。

$H$  則為氣流翻越之山脈的山高。

### (四) 颱風的 7 級風暴風半徑。

我們發現，愈大的暴風半徑往往愈容易能使颱風氣流由北部繞過山脈，在山脈西側造成背風渦旋，但其暴風半徑卻非直接與背風渦旋之強度有關係。因此，我們將它獨立成為一個變數，以方便探討其對颱風北偏之影響。

我們直接採用 CWB 公布的颱風 7 級風暴風半徑作為此因素的量化。

五、將背風渦旋強度與北偏幅度繪圖(如 Fig.3-2)，其中有 CE 者以另外顏色標示：

(一) 以阿里山測站在颱風登陸前幾小時所測得的風速，減去當年當月之平均風速。減法過程考慮風向，即使用向量減法。而採用阿里山測站的原因是由於我們在 EARTH 資料庫中大略判別出背風渦旋的範圍後，發現範圍內的阿里山、玉山以及台東成功三個測站之資料才夠完整。但玉山測站過高，氣流難以攀越，測站自然也測不到；成功測站在臺灣東側，則易受較大暴風圈半徑之颱風外圍環流影響，故採用阿里山測站。

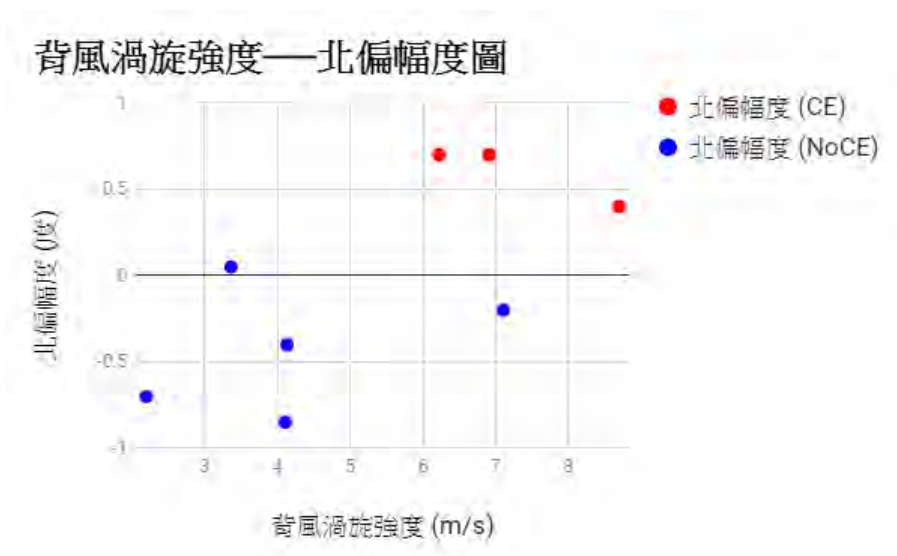


Fig.3-2 背風渦旋強度——北偏幅度圖

可以大略發現，背風渦旋強度不足的颱風，基本上幾乎沒有出現任何北偏效應；而只要是具有雙眼牆結構的颱風，都有產生較強的背風渦旋，也都有產生北偏效應。唯一的例外是 2010 年的凡那比颱風——產生了強的背風渦旋，卻沒有產生北偏效應。

六、將副熱帶高壓位置變化與北偏幅度繪圖(如 Fig.3-3)，其中有 CE 者以另外顏色標示：

(一) 副高影響值的定義中，分子 $x_2 - x_1$ 表示副高的移動，但若副高分別在東經 100 度、東經 120 度與東經 140 左右移動一樣的量值，對颱風的路徑改變卻有很大的變化。因此，納入分母 $\sqrt{|avg - x_1||avg - x_2|}$ ，其中 avg 指的是某聖嬰現象不明顯年的副高平均經度。如此一來，離平均值愈遠的副高之移動會使「副高影響值」愈小。至於開根號是為了使影響值本身為無量綱，以避免在單位轉換上出現可能的問題。

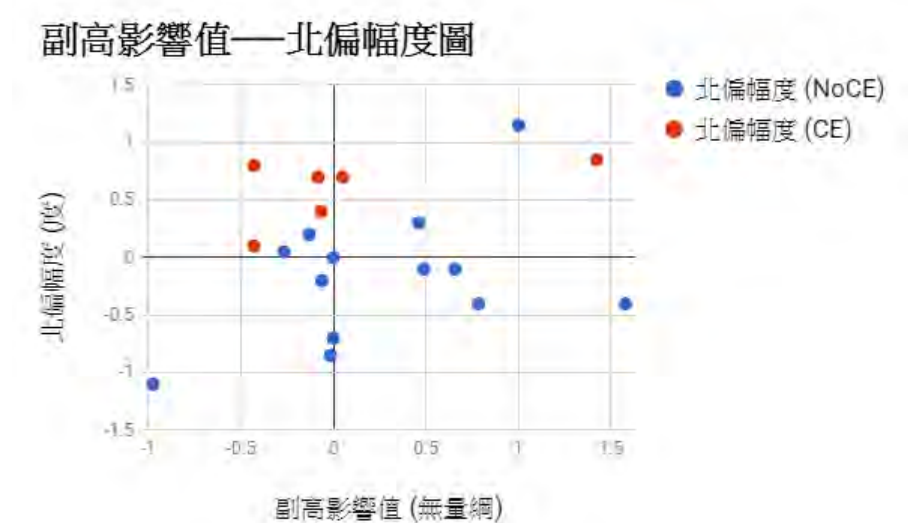


Fig.3-3 副高影響值——北偏幅度圖

從目前的分析上來看，副高的影響值大多影響颱風路徑中、大尺度上的改變，而非如北偏效應般的小尺度偏轉。因此，我們認為，副高影響值對颱風的北偏效應沒有明顯影響。

七、將夫如數大小與北偏幅度繪圖(如 Fig.3-4)，其中有 CE 者以另外顏色標示：

(一) 根據前人文獻(王時鼎等(1998)、葉天降等(2007))，夫如數的定義為  $U/NH$ ，若夫如數 $>0.5$ ，則氣流夠強，極有可能翻越山脈。

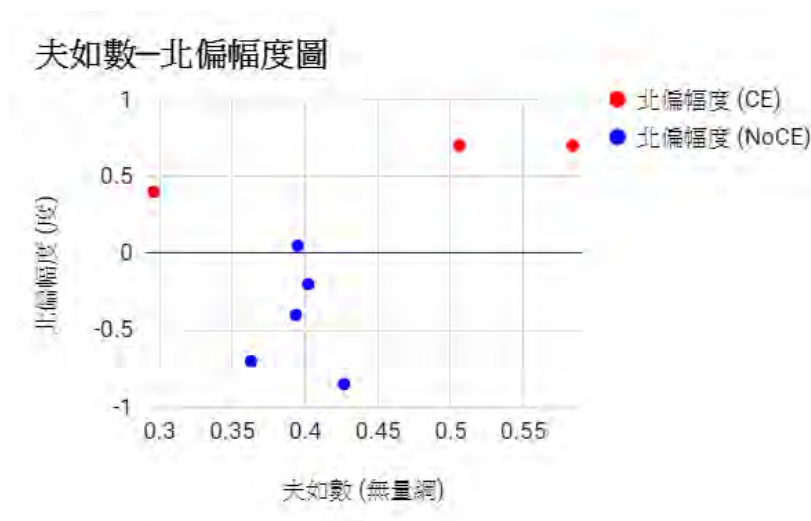


Fig.3-4 夫如數——北偏幅度圖

可以大略發現，若夫如數低於 0.5，則幾乎沒有北偏(甚至還出現南掉)，唯一的例外是夫如數只有約 0.3 的 2013 年蘇力颱風。蘇力颱風中心風速極強，若在夫如數中的  $U$  不代入澎湖東吉島測站測得的風速，而是代入蘇利颱風本身的風速，則夫如數可高達 0.7。由此可見，夫如數在對北偏效應的影響中可能擔任「二分法」的角色，若颱風的氣流夠強(即夫如數大於 0.5)，則氣流可以從西部爬過山脈到東部影響颱風本身，符合前人文獻研究，惟夫如數之影響力可能沒有比雙眼牆影響力大。



八、將暴風圈半徑與北偏幅度繪圖(如 Fig.3-n)，其中有 CE 者以另外顏色標示：

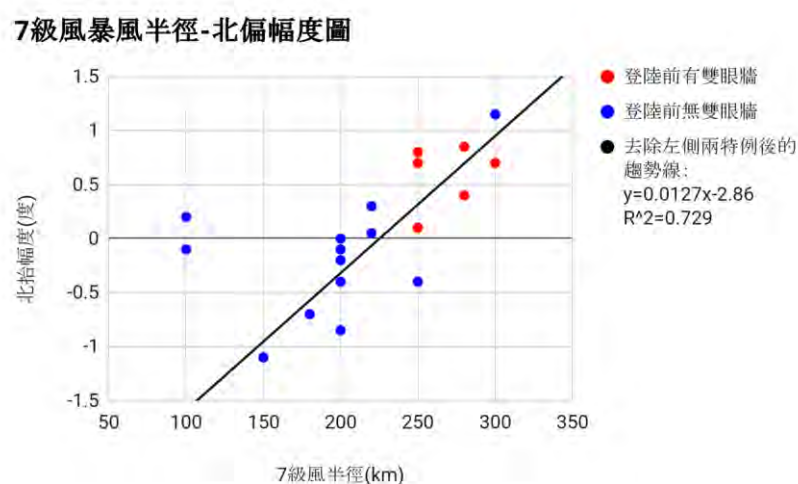


Fig.3-n 暴風圈半徑—北偏幅度圖

若將 Fig.3-4 中最左邊兩個偏離太多的弱颱風(特例，03 莫拉克、07 梧提)剔除，可發現有線性關係的模樣。所有的 CE 颱風皆離趨勢線不遠，也全數產生北偏，特例是 06 年的碧利斯——沒有 CE 結構，北偏卻很大。其強度不強，但暴風圈半徑卻很大。

## 肆、未來工作

一、各類路徑產生 CE 結構之個案與比例表：

類別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	特殊
總數	12	8	11	6	10	15	3	4	8	3
有 CE	3	4	5	0	2	7	1	0	0	0
比例	25.0%	50.0%	45.5%	0.0%	20.0%	46.7%	33.3%	0.0%	0.0%	0.0%

Chart.4-1 各類路徑產生 CE 結構之比例

註：部分颱風中央氣象局未或尚未判斷它為幾類路徑，我們利用中央氣象局的劃分自行判斷。分析對象為 2003 年~2016 年之間的颱風。

藉由表格，我們發現中心有觸碰到臺灣本島的西行颱風(2、3、4 類路徑)中，第 4 類路徑產 CE 結構的個案和比例皆比 2、3 類(接近 1/2)少很多(完全沒有案例)，我們推測造成這個結果的原因可能是較大風圈颱風(強度一般來說也比較強)，受北偏效應，路徑由原本預期的第四類颱風偏到第三類颱風，而最後仍走第四類路徑的颱風，為風圈較小(強度一般來說較弱)者，因此第四類 CE 個案少且比例異常的低。

(註：要生成 CE 結構其強度不能太弱是十分直觀的)

在這張表格中，我們還發現另外一個有趣的現象：第 8、第 9 類颱風(由南海北上者)完全沒有產生 CE 結構的案例。我們推測有以下兩個可能原因：

(一) 南海熱含量(Ocean Heat

Content, OHC)較太平洋不足，

較難支撐起較強颱風，如

Fig.4-1 所示(偏紅 OHC 偏高，

偏藍則反，而南海偏藍)。

(二) 南海空間太小，颱風來不及發

展出 CE 結構。

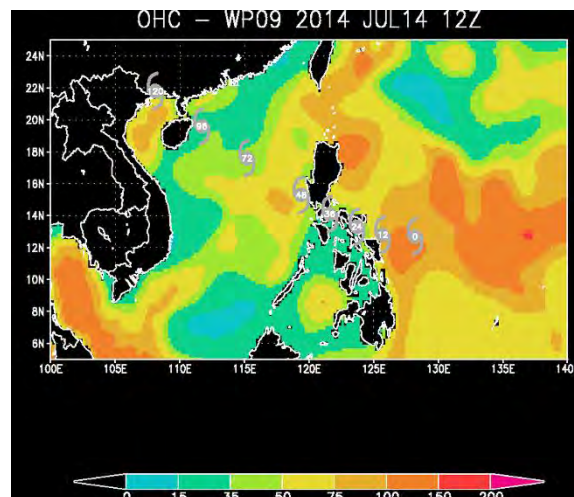


Fig.4-1 南海區域 OHC 圖

## 二、未來工作：測站資料圖

我們在取測站風速值時，也有觀察測站所測得之氣象要素逐時變化圖。然而，我們從中發現一個很有趣的現象：

有產生 CE 的颱風在登陸點附近測站的氣壓變動產生兩次谷值，別且谷值之後氣壓回升較慢(如下圖 Fig.4-2)；而沒有 CE 的颱風則只產生了一次谷值，谷值之後氣壓回升較快(如下頁 Fig.4-3)。

我們猜測兩個谷值分別由 CE 颱風的內眼與外眼造成，而因為 CE 颱風結構易較相同強度沒有 CE 的颱風不對稱，在颱風過山時氣壓變動的曲線不如沒有 CE 的颱風來的對稱。此假說的證實仍待我們後續研究。而這方面的發現可以協助我們在未來將「雙眼牆」納入 ANOVA 分析的變數中(例如：可以記錄為「此颱風有半個雙眼牆」，雙眼牆的量化定為 0.5 等)，而並非特別拉出來討論，以獲得更全面的結果，且能較完整的同時比較有無雙眼牆的差別。

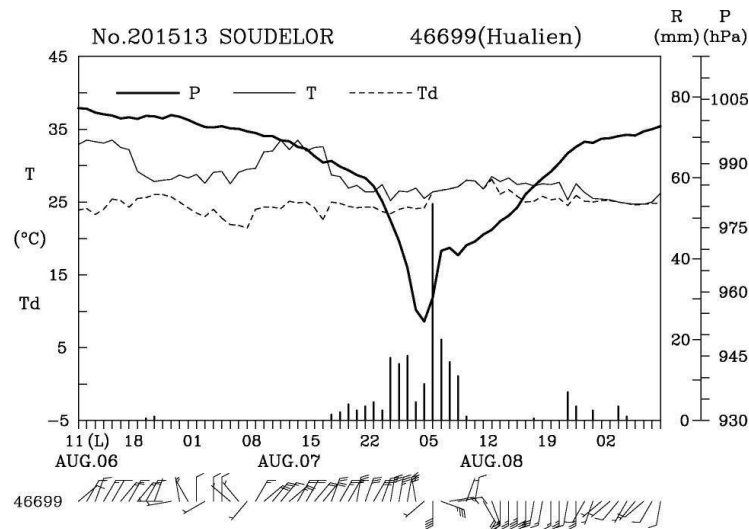


Fig.4-2 2013 蘇迪勒(CE)花蓮測站資料

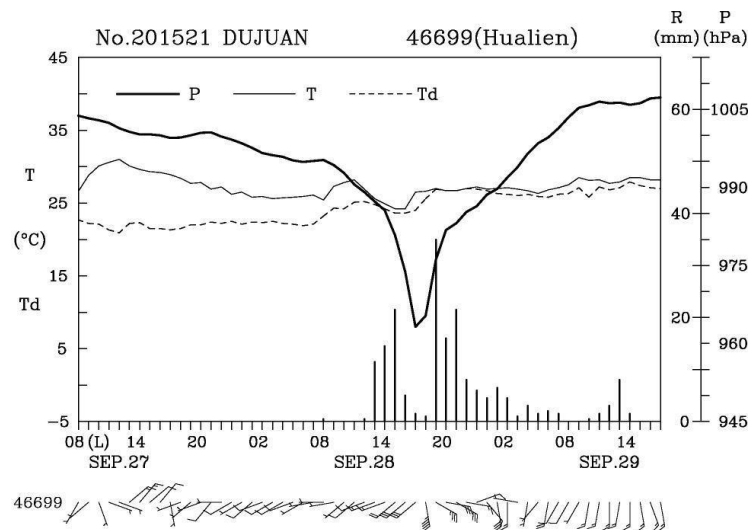


Fig.4-3 2015 杜鵑(NoCE)花蓮測站資料

## 伍、結論

- 一、我們發現有雙眼牆的西行颱風之氣流易繞過山脈，在中央山脈以西產生背風渦旋，並自己與此背風渦旋互繞，為造成北偏效應之原因之一。產生之背風渦旋不夠強的颱風很難出現北偏，背風渦旋夠強也常造成北偏。
- 二、我們定義「副高影響值」來量化副高移動所造成的路徑變化，發現其對小尺度路徑變化較無解釋能力。
- 三、我們計算目標颱風之夫如數，並發現颱風本身之夫如數便大致決定背風渦旋本身可否影響颱風本身。
- 四、我們發現 7 級風暴風半徑對北偏效應有很好的解釋能力，惟其中微小誤差可能由暴風半徑測量上誤差以及上述三原因之影響造成。

- 五、我們發現第八、九類路徑之颱風難以生成 CE 結構，推測可能是南海不夠大、不夠熱所造成。第四類路徑之颱風之路徑則可能受北偏效應影響，成為第三類路徑。
- 六、我們發現具有雙眼牆結構之颱風登陸時，其結構並非對稱。未來我們可能可以以此定義「有多少雙眼牆」(例如：有 0.5 個雙眼牆等)，以詳盡雙眼牆結構對北偏效應的影響。

## 陸、參考文獻

- 一、王時鼎等(1998)：《侵臺颱風「流型」與颱風路徑走向間之關係研究》。中央氣象局。
- 二、王時鼎等(2003)：《侵臺颱風因臺灣地形引起兩類邊界層現象分析及其預報問題討論》。天氣分析與預報研討會。
- 三、葉天降等(2007)：《臺灣地形引致颱風路徑迴轉之探討》。2007 年臺灣地球科學聯合學術研討會。
- 四、楊憶婷(2013)：《微波衛星觀測西北太平洋雙眼牆颱風特性之探討》。國立臺灣大學理學院大氣科學研究所博士論文。
- 五、Dvorak(1973)：A technique for the analysis and forecasting of tropical cyclone intensities from satellite pictures. NOAA Tech. Meme. NESS 45, 19 pp.
- 六、Kuo, H.-C., C.-P. Chang, and C.-H. Liu(2012)：Convection and rapid filamentation in Typhoon Sinlaku during TCS-08/T-PARC. Mon. Wea. Rev., 140, 2806-2817.

## 【評語】 180009

雙眼牆颱風侵台路徑北偏現象，是一有趣且有參考應用價值之研究。為何實際路徑經常會比預測路徑北偏，是有甚麼重要因素沒被預報員考慮到？偏移的作用力來自甚麼作用力？選題明確，方法及程序也有創意，但可能將所研究的現象太過簡化了，可以多閱讀相關文獻，對相關背景知識之增長有幫助，對研究主題之探索也會較完整。