

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高級中等學校組 地球與行星科學科

第一名

051907

風度「偏偏」

—分析颱風風場的不對稱性及實驗模擬

學校名稱：高雄市立仁武高級中學

作者：  高一 莊詠軫  高一 吳孟璟  高一 余慧安	指導老師：  蘇毓智  楊子瑩
---	-----------------------------

關鍵詞：風場不對稱、駛流場、季風共伴

## 得獎感言

### 追風！追逐屬於我們的科學夢

科學，是一個不斷尋找答案的過程。在尋找答案的過程、細節中，會碰壁、挫折，抑或是意見分歧，但總能找到那一個平衡點，也不是每次的探索都能找到一個相對應的解，有時候，我們會花了一段很長的時間去找一個不知道答案的問題（選擇科展題目），或是答案非我們所想的（不符合假說），但這不也是一種結果嗎？科學，不只是一套方程式，有太多太多的變數，等著我們發現。

從國中畢業，到現在升上高二，回憶有一半以上來自實驗室，酸甜苦澀，在實驗室四百多天的日子，最初，只有一顆充滿能量的好奇心，四處摸索，看著水霧漸漸轉成接近颱風的漩渦，我們在一旁讚嘆不已，為了能夠在水霧實驗中求得數據，我們嘗試了許多方法，在水中丟入球體想藉由觀察球體運動的軌跡，計算渦度量化數據，我們始終找不到合適的材質球體，在茫茫尋找的過程中，結果每每不如我們所相信，使我們有些挫折，失了耐心，在最疲憊時刻，老師帶回了一個蛋糕盒，我們有了新的想法，找到了實驗的方向，從分析到模擬，從迷茫到有了目標，在過程中體認到「團隊合作」及「耐心」的重要性。

報告書上呈現的，是數據，是結果，但常存我們心裡的是實驗探索的過程，意見分歧爭論後，達到共識的過程。在實驗室中，於耳邊低語的不是蟲鳴，不是鳥聲啾啾，而是轟轟作響的吸塵器噪音，入耳總使我們昏昏欲睡，每一次的模擬總要 10 至 20 分鐘左右，多次模擬才能獲得一點點成果，即使過程難熬，但每得到一個結果，就是前進了一步，那樣的成就便足以淹沒那些過程的疲倦與挫敗，成了一股向前的動力。

風度「偏偏」是我們三人攜手努力而成的作品，風度「邊邊」是我們自娛的隊名，躲在實驗室的角落分析、討論，沈浸在三人世界，環繞著「颱風」的空間，還有指導老師的全程相伴，當我們遭遇瓶頸時耐心指點，放手讓我們大膽假設，因為這樣的氛圍，才有這小小的成果。

在科展活動中，所得到的，所經歷的，每一步腳印，都成了一處足跡，在往後的日子，依舊期望能秉持科學研究的精神，開發生活的每一處。我們知道「不是每一次努力都有收穫，但是，每一次收穫都必須努力」。感謝教授們對於我們作品的肯定與建議，感謝氣象局服務科大哥們百忙中為我們趕寄氣象資料，感謝專家學者們不厭其煩的給予我們協助，在完成作品的一路上雖然充滿了荊棘，但因為許多老師、朋友的建議與協助成了我們解決問題的助力，也成為我們的研究旅途中，最大的支持與鼓勵。



春夏秋冬，400 多個日子裡、實驗、討論、打報告……  
忙碌不間斷。



最後一戰了，  
準備上場面對教授提問  
超級緊張



仁武高中科展團隊  
走訪中央氣象局，  
處處值得學習

## 摘要

為分析侵台颱風風場的不對稱性，本研究分析測站的實際風速資料，並設計氣流場實驗模擬。我們發現，未受地形破壞前，西行颱風半徑普遍是西>東，北>南，可能受高壓位置、東北信風造成；北行颱風大氣環境複雜，6號路徑颱風大多南>北，可能是颱風引進西南風造成，部分颱風與東北風共伴使北側大；7號路徑為西北側大；8~9號路徑為東北側大。地形阻擋也會使風場結構產生變化，背風側產生尾流區，在氣流輻合處形成噴流區等。本研究也以氣流場模擬颱風不對稱性並測量風速，我們發現改變吸力強度、裝置深度可模擬不同範圍的颱風，改變引流孔開關可使風場不對稱，放置障礙物及台灣模型可於背風側形成尾流、副低壓區等，模擬結果均以等風速圖呈現。

## 壹、研究動機

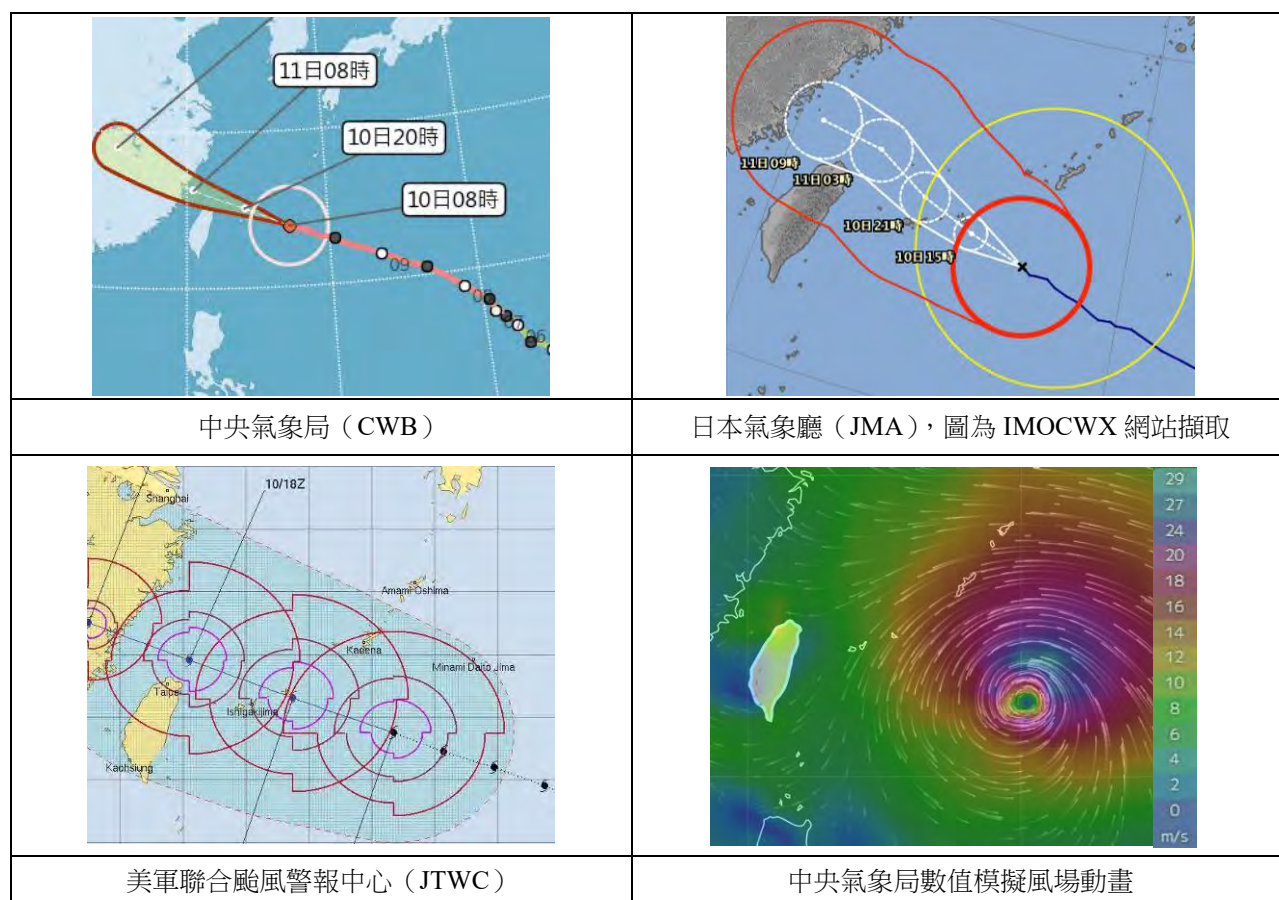
「颱風」是台灣每年都會經歷的劇烈天氣災害，總是造成巨大的身家財產損害，民眾和政府單位唯有透過精確的氣象預報資訊，才能做出正確判斷、降低傷害。

有研究指出，颱風的風場未必如颱風預報上所看到的正圓，颱風的風場可能會因為許多外在因素影響風場的對稱性，例如：當環境存在垂直風切時，颱風會在下風切處對流增強，上風切處對流發展不易，因而導致不對稱（江孟恆，2015）。而駛流場也會影響颱風的風場結構或路徑（蘇傳翔，2012），此外，季風的共伴也會造成風場變化，常在台灣發生極端降雨（艾寧靜，2012），這使我們想針對颱風風場的「對稱性」進行探究。

觀測天氣現象的方法隨著科技技術與數理計算的發展愈來愈進步，1992年，英國物理學家理查遜（Lewis Fry Richardson）嘗試以差分方法計算方程式進行數值模擬預測，應用流體力學及熱力學方程式描述大氣演變，使用高速電腦運算這些繁複的方程式，從而得知未來大氣層的變化，成為天氣預報的重要工具（香港天文台教育資源網站，2018），但數值模擬預報模式對大尺度、長時間的預報準確度提升，對於小尺度或複雜地形（如台灣）造成的氣候影響仍需經驗修正，因此，我們希望以台灣的地面測站實際風速資料，實際驗證颱風的風場。

我們在比較世界各國颱風預報時發現，各國多半已將風場不對稱列入考量（JMA、JTWC 等網站）。從去年開始，中央氣象局也參考追風計畫的成果，在警報單加註了長短軸，但民眾仍習慣正圓的預報方式。本研究嘗試分析各種不同路徑的颱風在登陸前、後或過山後等不同階段的風場變化情形，期望在預報模式提出想法，且希望在實驗室中進行模擬。

表一、2018 年瑪莉亞（MARIA）颱風在同一時間的中央氣象局預報圖、日本氣象廳預報圖、美軍聯合颱風警報中心預報圖及中央氣象局數值模擬風場動畫圖

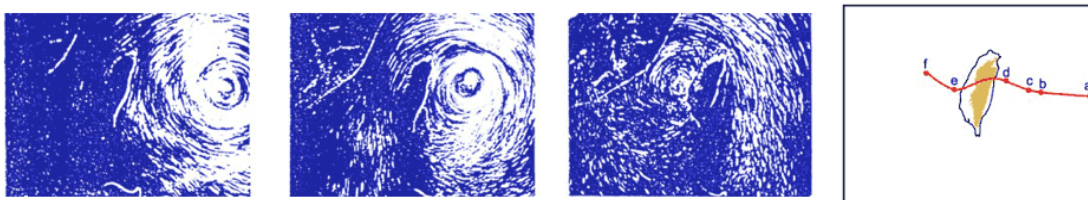


	中央氣象局（CWB）	日本氣象廳（JMA）	美軍聯合颱風警報中心（JTWC）
風場呈現方法	正圓，分七級與十級風	橢圓，有長短軸	四個象限
風速單位	m/s（或 km/hr）	m/s（或 km/hr）	kts
平均風速採計	10 分鐘平均	10 分鐘平均	1 分鐘平均
說明	風圈為平均風速分為七級風（13.9m/s）暴風半徑和十級風（24.5m/s）暴風半徑	風圈為「可能」出現該風速的區域，所以畫的風圈也較大。分為 15m/s 的強風圈和 25m/s 的暴風圈	風圈為平均風速依顏色區分為 30kts（紫色）、50kts（橘色）、64kts（紅色）

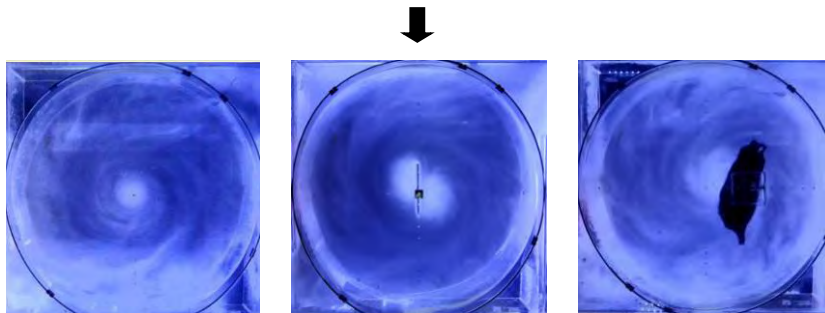
※kts 為海里/小時的單位，1kts = 0.514 m/s

在風場模擬的相關研究中，第 55 屆科展作品—凌「雲」馭「風」中提到，前人多以水工實驗模擬颱風（如朱錦洲等，1992），但水流不能模擬低層輻合、高層輻散等現象，因此他們設計水霧氣流場模型模擬颱風，相當仿真的模擬出颱風雲層，證明氣流場模擬颱風為可行的（郭宜玟等，2015），但此實驗定性而未定量，無法取得實際風速數據，因此，本研究欲發展氣流場動力實驗模型，針對未定量的問題進行改良，並模擬颱風氣流的不對稱性。

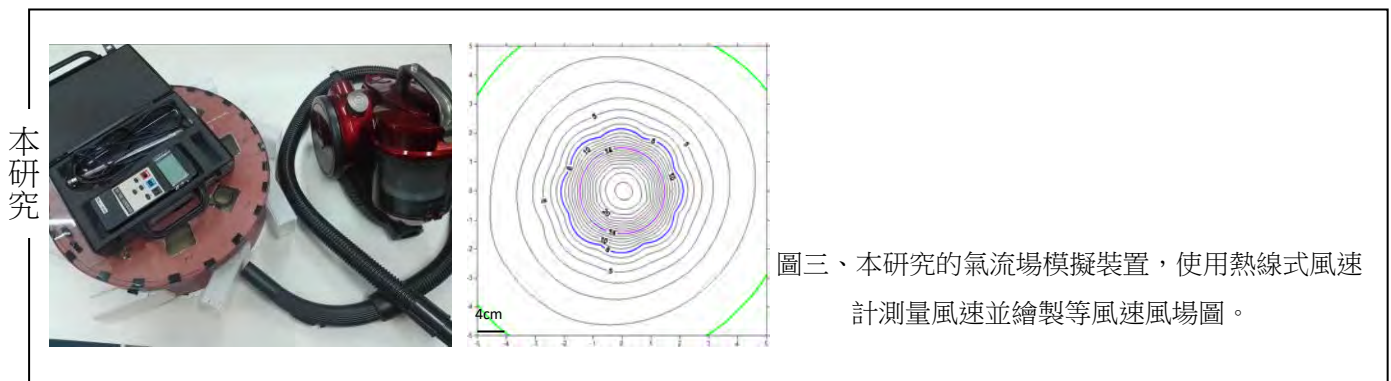
在我們的氣流場模擬裝置中，為了達到定量的目的，利用抽風裝置模擬颱風，使用熱線式風速計測量在不同情況下裝置內各洞口由外圈至內圈的風速大小，取得實際數據，繪製風速等值線圖，再與實際狀況進行比較。



圖一、颱風過山之水工模擬（鮑咸平教授所作），圖為颱風過山的模擬，圖自氣象局颱風預報輔助系統網站（2018）



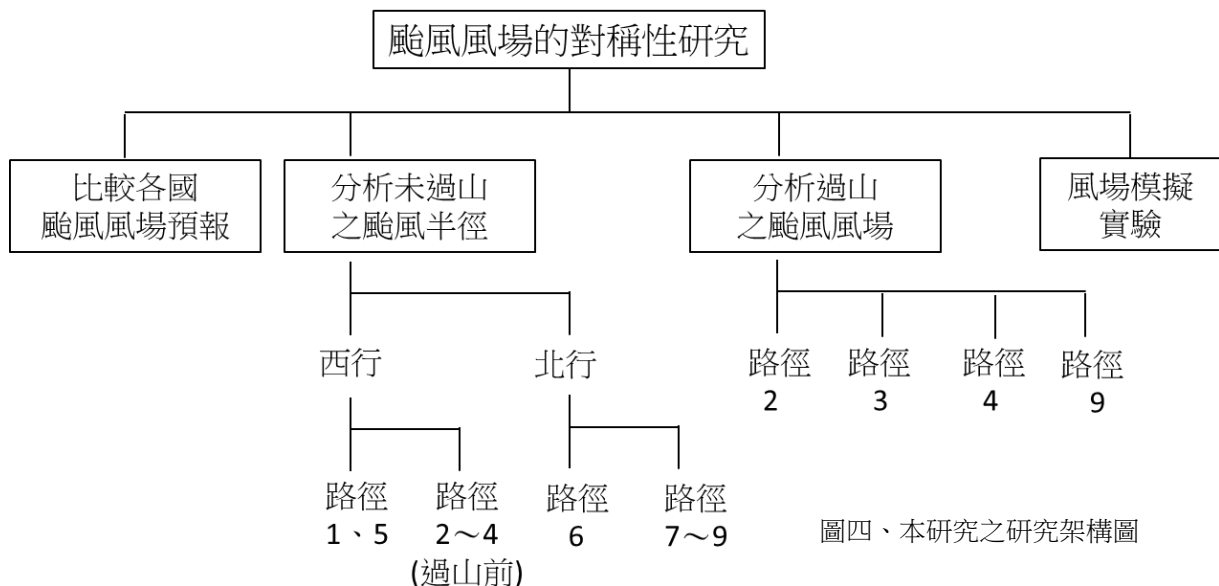
圖二、颱風之水霧模型模擬，圖為該模型在遇到障礙物時的水霧模型模擬。圖自第 55 屆科展作品—凌「雲」馭「風」—以霧化水分子氣流場模型模擬颱風在不同環境下的風場及路徑變化（郭宜玟等，2015）。



圖三、本研究的氣流場模擬裝置，使用熱線式風速計測量風速並繪製等風速風場圖。

## 貳、 研究目的

- 一、 分析西行颱風之實測半徑
  - (一) 路徑 1 (西行過台灣北部海面), 分析暴風半徑
  - (二) 路徑 5 (西行過台灣南部海面), 分析暴風半徑
  - (三) 路徑 2、3、4 穿越台灣本島的颱風, 過山前之實測半徑
- 二、 分析北行颱風之實測半徑
  - (一) 路徑 6 (自東部海面北上), 分析暴風半徑
  - (二) 路徑 7、8、9 (自台灣南方北上), 分析暴風半徑
- 三、 分析颱風過山前後的風場變化
  - (一) 路徑 2 (西行過北台灣), 分析風場變化
  - (二) 路徑 3 (西行過中台灣), 分析風場變化
  - (三) 路徑 4 (西行過南台灣), 分析風場變化
  - (四) 路徑 9 (東行或東北行過台灣), 分析風場變化
- 四、 風場對稱性實驗模擬
  - (一) 模擬不同強度
  - (二) 模擬不同範圍
  - (三) 模擬不同對稱性
  - (四) 模擬颱風中心位置偏移
  - (五) 模擬風切造成的影響
  - (六) 模擬障礙物高度造成的影響
  - (七) 模擬不同比例台灣模型造成的影響



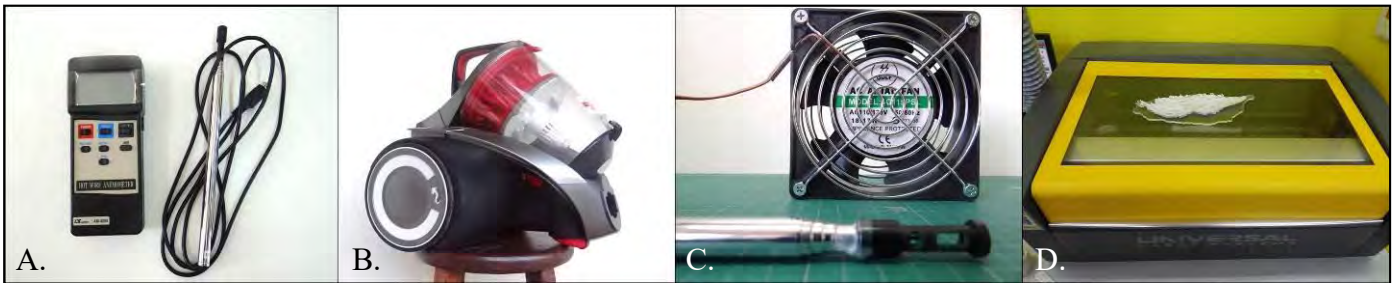
圖四、本研究之研究架構圖

### 參、研究設備及器材

一、使用軟體：Surfer、CorelDRAW、Excel

二、實驗材料

器材		耗材	
16 吋蛋糕盒	尺	瓦楞板 數片	A4 紙張
吸塵器	相機腳架	絕緣膠帶	壓克力板
數位熱線式風速計	剪刀	熱熔膠條 (大、小)	鐵絲
18W 風扇	印表機	軟、硬塑膠片 數片	AAA 電池
數位相機	美工刀	資料夾	海綿紙
熱熔槍	壓克力板		
電腦	隨身碟		
桌上型雷射切割機			



圖五、本研究所需之重點器材

A、熱線式風速計 LUTRON

B、吸塵器 DIRT DEVIL

C、校正用風扇 飛安電器

D、桌上型雷射切割機 UNiVERSAL VLS350

三、測站資料 (附錄一) 及中央氣象局颱風路線分類



圖六、本研究所選用的測站 (共 20 個)



圖七、中央氣象局所提供的颱風路線分類圖



四、分析颱風資料：(資料來自中央氣象局侵台颱風資料庫)

(一) 選取颱風條件：

1. 路徑符合中央氣象局定義的九種路徑分類。
2. 氣壓變化(強度)、暴風範圍無劇烈變化。
3. 選取氣候資料較完整的颱風進行分析(至少1980年之後)。

(二) 西行颱風之暴風半徑分析(2~4號路徑只分析過山前)

	颱風及發生年份			
1 號路徑	傑夫(1985)	尼爾森(1985)	亞伯(1990)	辛樂克(2002)
	艾利(2004)	蘭寧(2004)	馬莎(2005)	卡努(2005)
	桑美(2006)	潭美(2013)	菲特(2013)	
2 號路徑	黛拉(1978)	諾瑞斯(1980)	芙瑞達(1984)	愛麗(1991)
	賀伯(1996)	碧利斯(2006)	柯羅莎(2007)	卡玫基(2008)
	杜鵑(2015)	尼莎(2017)		
3 號路徑	艾貝(1986)	黛特(1990)	寶莉(1992)	提姆(1994)
	奧托(1998)	泰利(2005)	龍王(2005)	海棠(2005)
	梧提(2007)	莫拉克(2009)	麥德姆(2014)	
4 號路徑	珀西(1980)	安迪(1982)	黛特(1982)	帕布(2007)
5 號路徑	露西(1971)	艾爾西(1975)	賀璞(1979)	傑魯得(1987)
	琳恩(1987)	艾美(1991)	肯特(1995)	杜鵑(2003)

(三) 北行颱風之暴風半徑分析

	颱風及發生年份			
6 號路徑	裘恩(1981)	西仕(1982)	亞力士(1984)	席斯(1994)
	道格(1994)	瑞伯(1998)	楊妮(1998)	巴比倫(2000)
	象神(2000)	啟德(2000)	海馬(2004)	敏督利(2004)
	納坦(2004)	艾維尼(2006)	康芮(2013)	馬勒卡(2016)
7 號路徑	娜拉(1973)	葛樂禮(1996)	奇比(2001)	莫蘭蒂(2016)
	海棠(2017)			
8 號路徑	賴恩(1995)	凱姆(1996)	米勒(2003)	
9 號路徑	裘迪(1966)	艾爾西(1966)	艾克(1981)	蘇珊(1988)
	瑪麗安(1990)	娜克莉(2002)	南瑪都(2004)	萊羅克(2010)
	梅姬(2010)	泰利(2012)		

(四) 受山脈破壞之風場分析

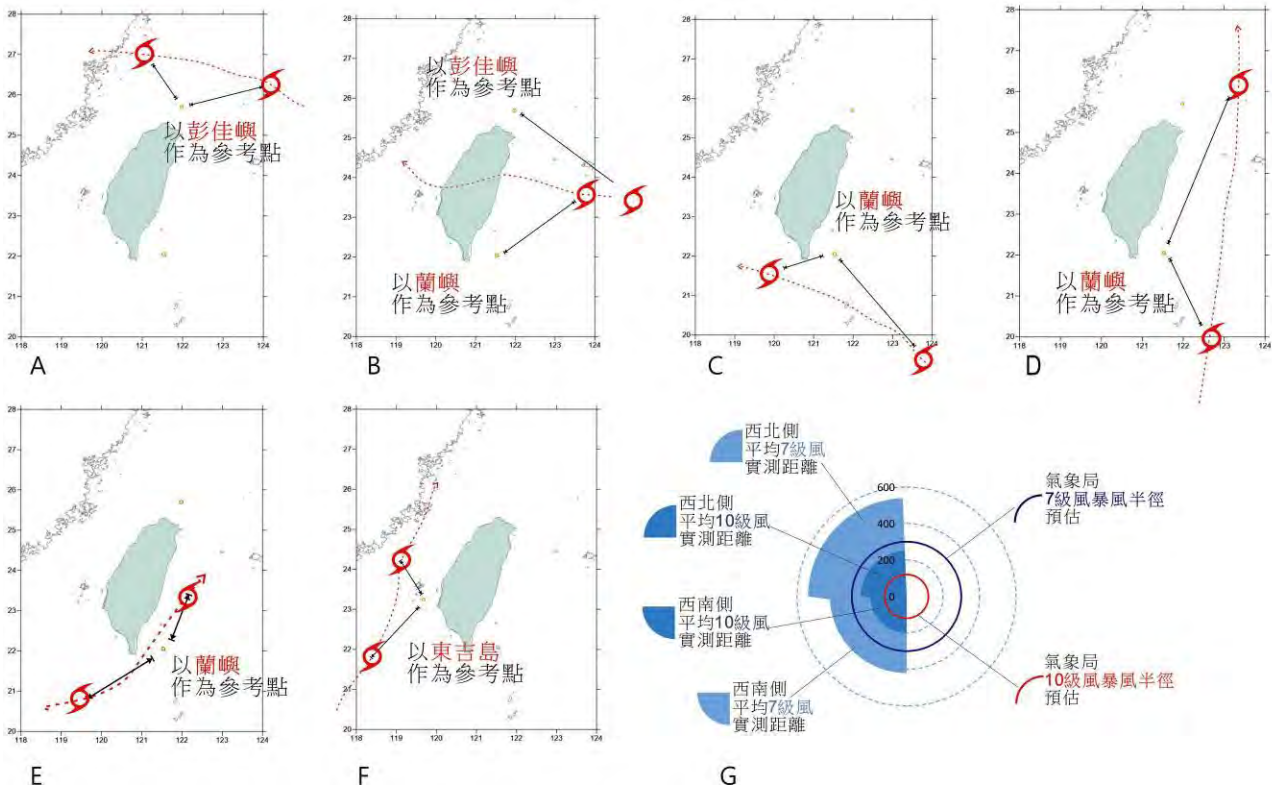
	颱風及發生年份			
2 號路徑	賀伯(1996)	碧利斯(2006)	蘇力(2013)	杜鵑(2015)
	尼莎(2017)			
3 號路徑	碧利斯(2000)	海棠(2005)	莫拉克(2009)	蘇迪勒(2015)
	梅姬(2016)			
4 號路徑	凡那比(2010)	南瑪都(2011)	尼伯特(2016)	
9 號路徑	娜克莉(2002)	南瑪都(2004)		

## 肆、研究過程或方法

### 一、暴風半徑分析方法

#### (一) 找出擬定分析的颱風參考測站

1. 選定無高山阻礙的地區作為參考測站（主要為蘭嶼、彭佳嶼、東吉島三站）。
2. 至中央氣象局颱風資料庫查詢接近或通過選定的測站且無受地形影響的颱風。



圖八、分析各路徑各側風場大小所選用之參考點及分析颱風風場大小示意圖

- A、1 號（西行過北台灣海面）、2 號（西行過台灣北部）路徑以彭佳嶼作為參考點，計算風場東西側大小。
- B、部分 2 號、3 號（西行過台灣中部）及 4 號（西行過台灣南部）路徑以蘭嶼及彭佳嶼作為參考點，計算風場南北側大小。
- C、5 號（西行過巴士海峽）、7 號（沿台灣西岸北上）路徑以蘭嶼作為參考點，計算風場東西側大小。
- D、6 號路徑（北行過台灣東部海面）以蘭嶼作為參考點，計算風場南北側大小。
- E、8 號路徑（沿台灣東岸北上）以蘭嶼作為參考點，計算風場南北側大小。
- F、9 號路徑（東行或東北行過台灣）以東吉島作為參考點，計算風場南北側大小。
- G、利用實際數據分析出的各路徑風場大小。

## 二、風場分析方法

- (一) 購買中央氣象局的颱風平均風速資料。
- (二) 選取平均風速達七級風以上且在颱風警報發布時間範圍前後的風速資料。
- (三) 選定平均風速達七級風開始及結束時間。
- (四) 計算七級風開始及結束時颱風中心與測站之連線距離。
- (五) 利用颱風中心與測站相對位置分析其各側風場大小。

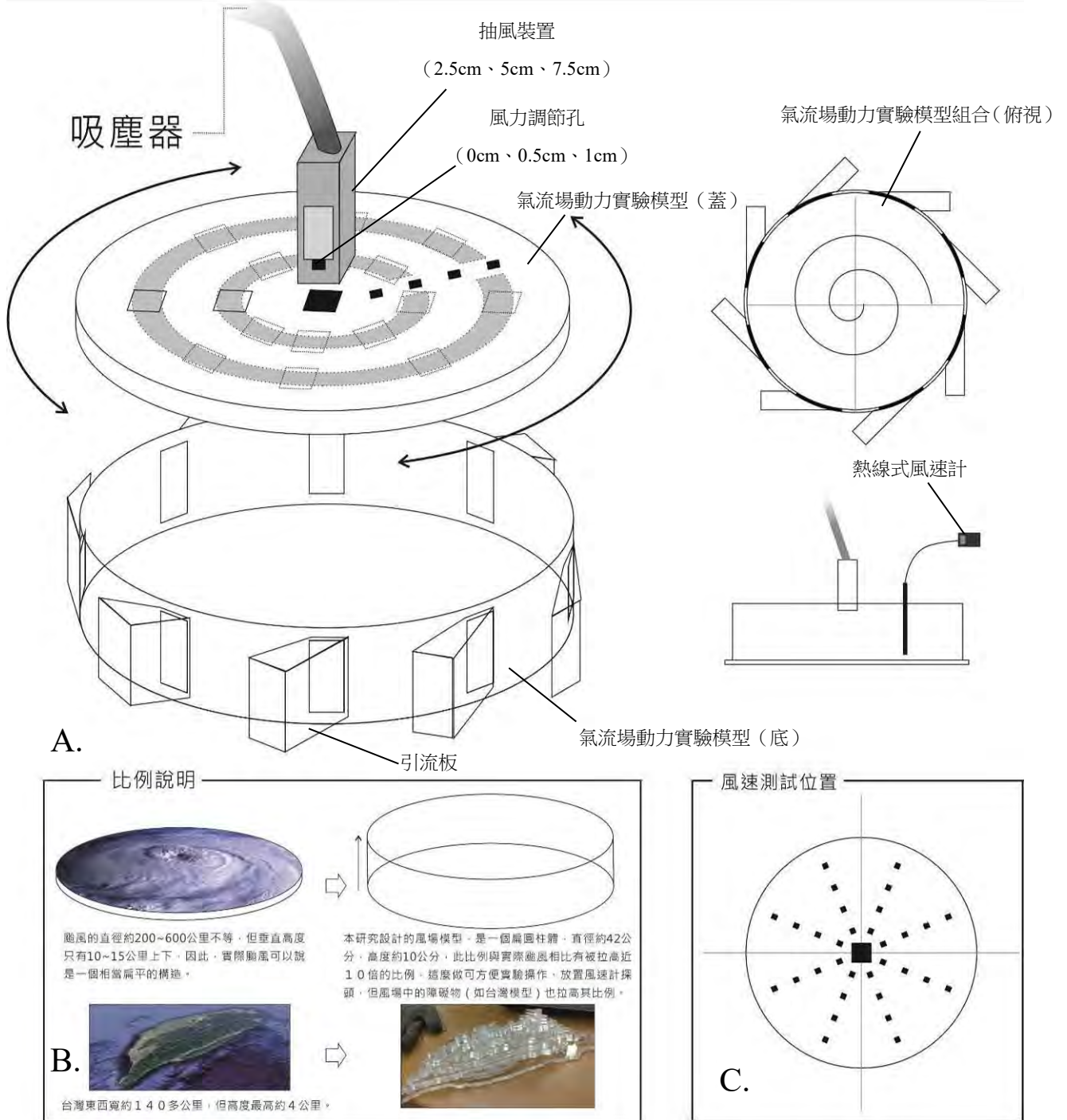
## 三、風場受地形影響之變化

- (一) 選定合適路徑的颱風。
- (二) 選取各颱風中心位於台灣本島中央各 3 小時、6 小時前後的風速資料。
- (三) 將各測站於選定時間內之風速資料及各測站之經緯度製成表格。
- (四) 將上述數據輸入至製圖軟體 Surfer，製成等值線圖。
- (五) 於等值線圖上標記 8m/s〔藍〕、14 m/s〔紅〕、24m/s〔黃〕之等值線位置。
- (六) 利用 Surfer 內建世界地圖搜尋台灣經緯度位置，取得台灣地圖，疊加至颱風風場風速等值線圖上。

## 四、風場實驗模擬方法（如圖九）

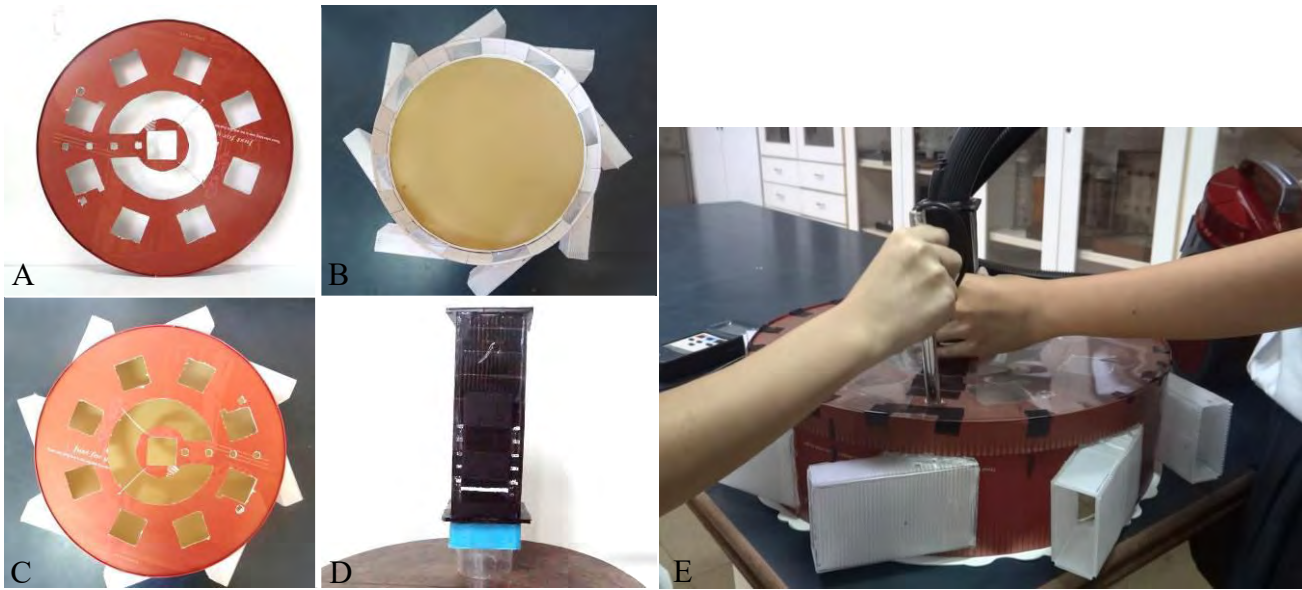
- (一) 使用 16 吋蛋糕盒製作氣流場動力實驗模型（直徑 42 公分、高 10 公分）
  1. 於盒身高 1.5 公分處切割一邊長為 7 公分的正方形，沿盒身共 8 個。
  2. 使用瓦楞板製成八個空氣引流板，使空氣在抽風機作用的情況下能於盒內逆時針旋轉。
  3. 於盒蓋中心至盒蓋外圈八方位處各切割一邊長 4.8 公分的正方形，以放置抽風裝置（2.5cm / 5cm / 7.5cm），利用抽風裝置改變抽風風力大小。
  4. 於距離盒蓋中心 4 公分、8 公分、12 公分、16 公分處各切割一邊長為 1.2 公分的正方形，以放置熱線式風速計，使其下探至盒底。
- (二) 利用抽風設備（吸塵器）模擬颱風中心之氣流上升位置，並使用自製抽風裝置改變抽風設備深度及強度，模擬不同情形的颱風對稱性。
- (三) 旋轉上蓋，在小孔處以數位熱線式風速計測量近盒底之風速。

- (四) 利用洞口開關數量與位置的不同模擬不同對稱性的颱風。
- (五) 放置障礙板，模擬加入地形影響因素，分析地形與風場變化之關聯。
- (六) 放置等比例縮小台灣模型，模擬風場受台灣地形影響之變化。



圖九、氣流場動力實驗模型安置示意圖及抽風裝置中心改變放置位置圖

- A、氣流場動力實驗模型分解示意圖。
- B、氣流場動力實驗模型與雷射切割台灣模型比例說明圖
- C、風速測試位置圖（其他小黑點為測量風速的位置）

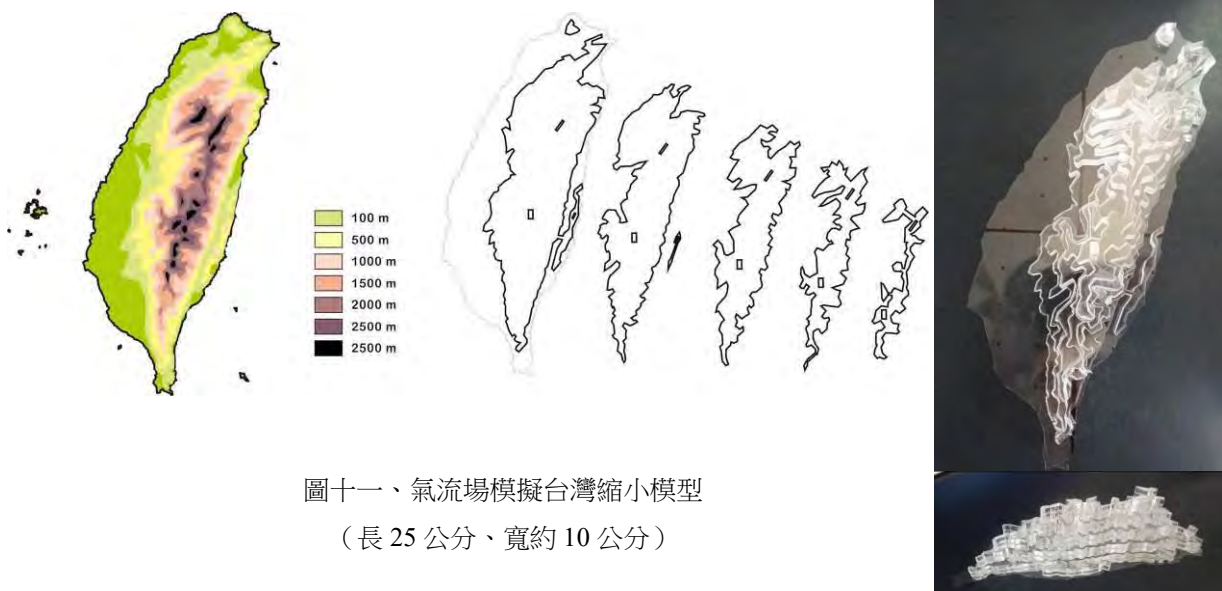


圖十、風場模擬所需器材

- A、氣流場動力實驗模型（蓋）      B、氣流場動力實驗模型（底）      E、模擬實驗側拍  
 C、氣流場動力實驗模型組合（俯視）      D、抽風裝置（2.5/5.0/7.5cm）

五、台灣地形障礙物製作方法：

- (一) 將 500m、1000m、1500m、2000m、2500m 的等高線平面圖以繪圖軟體畫出
- (二) 將檔案轉檔，選擇 5mm 的壓克力板以桌上型雷射切割機進行切割。
- (三) 將各等高線圖層的壓克力板疊合，只疊一層即為 500m 換算為 5mm；  
 疊兩層即為 500m 換算為 1cm。



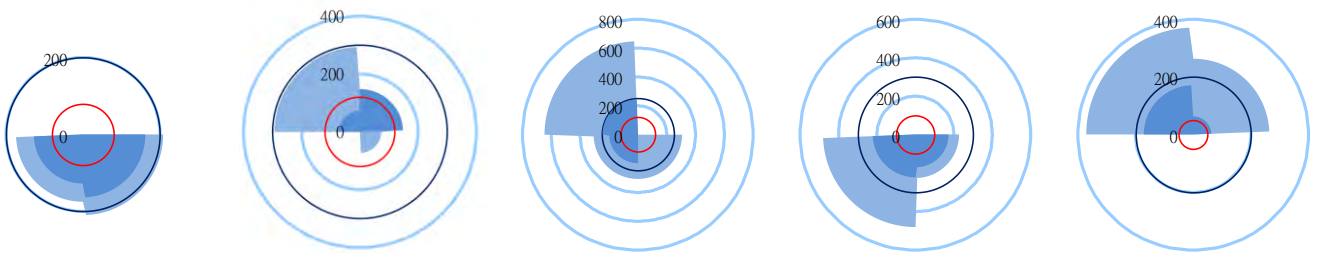
圖十一、氣流場模擬台灣縮小模型  
 （長 25 公分、寬約 10 公分）

## 伍、研究結果

### 一、分析西行颱風之實測半徑

#### (一) 路徑 1 (西行過台灣北部海面)，分析暴風半徑

颱風名稱	傑夫 1985		尼爾森 1985		亞伯 1990		辛樂克 2002	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	SSE209km	S 163km	NW293.7km	NE147.9km	NW648.7km	NW244.6km	SW481km	SW224km
短軸	SW174.5km	SW127.2km	E147.9km	SE 72.97km	S307km	SW198.9km	SE226km	SE71km
預報	200km	80km	300km	120km	250km	120km	300km	100km
颱風名稱	艾利 2004		蘭寧 2004		馬莎 2005		卡努 2005	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NW371km	NW171.9km	WNW283.4km	SSW211.6km	NW326km	S197km	WNW217km	
短軸	NE263km	NE 63km	WS251.95km	SW185.7km	S230km	NW139km	SSW192.4km	
預報	200km	50km	250km	100km	250km	80km	200km	80km
颱風名稱	桑美 2006		潭美 2013		菲特 2013			
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈		
長軸	S 108.89km		SE401.38km		NW449km	SW144km		
短軸	SW104.13km		N 58.65km		SE226km	SE124km		
預報	180km	80km	180km	50km	250km	80km		



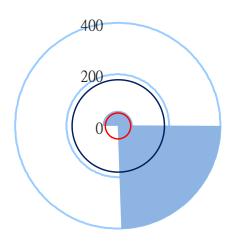
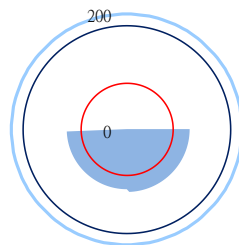
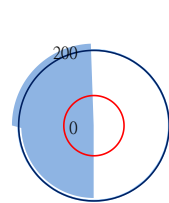
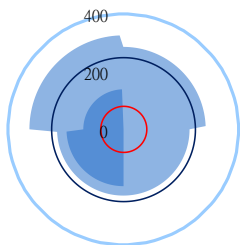
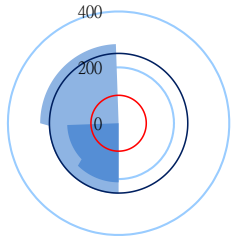
傑夫 1985

尼爾森 1985

亞伯 1990

辛樂克 2002

艾利 2004



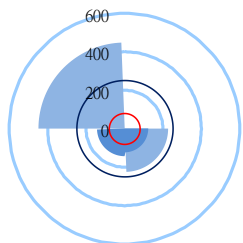
蘭寧 2004

馬莎 2005

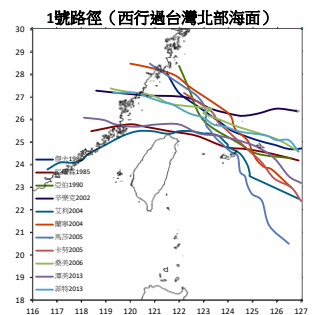
卡努 2005

桑美 2006

潭美 2013



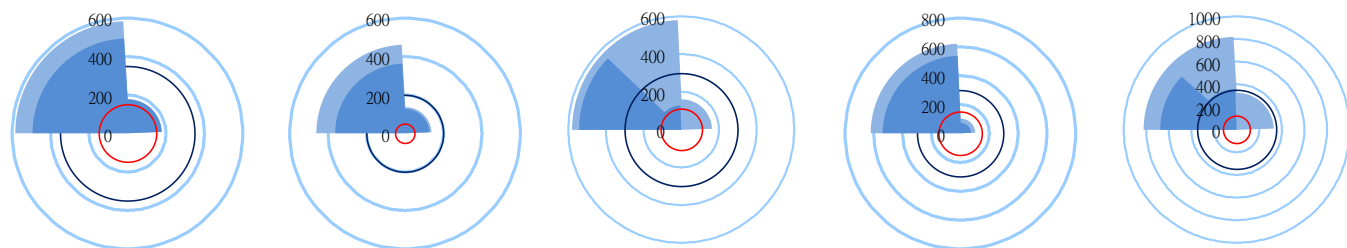
菲特 2013



西行過北台灣海面時，因受上方高氣壓環流分布及東北信風影響，造成西側或西北側風場普遍較大（西>東，北>南）。潭美颱風在遠離後，彭佳嶼仍吹強勁西南風，導致東南側較大。

(二) 路徑 5 (西行過台灣南部海面)，分析暴風半徑

颱風名稱	露西 1971		艾爾西 1975		賀璞 1979		傑魯得 1987	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NW584.3km	NW494.5km	NW462.2km	NW363.3km	NW580.8km	WNW543.6km	NW622.3km	NW539.7km
短軸	NE176.7km	NE176.7km	NE136.1km	NE127km	NE161.5km	NNW128.7km	NE101.6km	NE72.4km
預報	350km	150km	200km	50km	300km	110km	300km	150km
颱風名稱	琳恩 1987		艾美 1991		肯特 1995		杜鵑 2003	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NW822.1km	WNW675.6km	NW641.6km		NW474.3km	NW395km	NW633.7km	NW321.1km
短軸	NE327.4km	NNW361.3km	SE296.6km		NE209km	NE169.2km	E284.5km	NE75.7km
預報	350km	120km	250km	150km	200km	100km	250km	100km



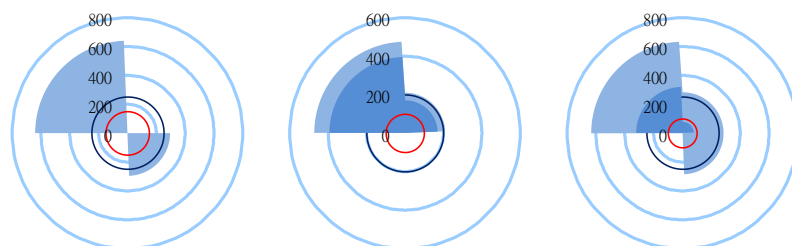
露西 1971

艾爾西 1975

賀璞 1979

傑魯得 1987

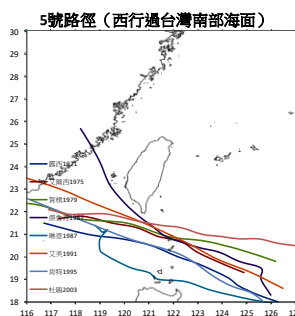
琳恩 1987



艾美 1991

肯特 1995

杜鵑 2003



颱風西行過南台灣海面，結果很一致，西北側風場最大，東北側小。

(三) 路徑 2、3、4 穿越台灣本島的颱風，過山前之實測半徑

1. 路徑 2 (西行過台灣北部)

颱風名稱	黛拉 1978		諾瑞斯 1980		芙瑞達 1984		愛麗 1991	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	SW206.1km		NW 336km		NNW511km		NW 101.2km	
短軸	NW203.1km		SW 280.3km		WNW459.3km		EN50.6km	
預報	150km		250km	60km	200km		150km	
颱風名稱	賀伯 1996		碧利斯 2006		柯羅莎 2007		卡玫基 2008	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NW478.8km		NW491km		WNW633.2km	WNW633.2km	NW333.75km	
短軸	SW380.6km		SW242.69km		NNW287.8km	NNW150.2km	NE141.25km	
預報	350km	150km	300km		300km	120km	100km	
颱風名稱	杜鵑 2015		尼莎 2017					
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈				
長軸	NW 282.1km	SW 265.5km	NW 252.7km					
短軸	SW 275.9km	N 136.4km	SW 189.7km					
預報	220km	80km	180km	60km				

2. 路徑 3 (西行過台灣中部)

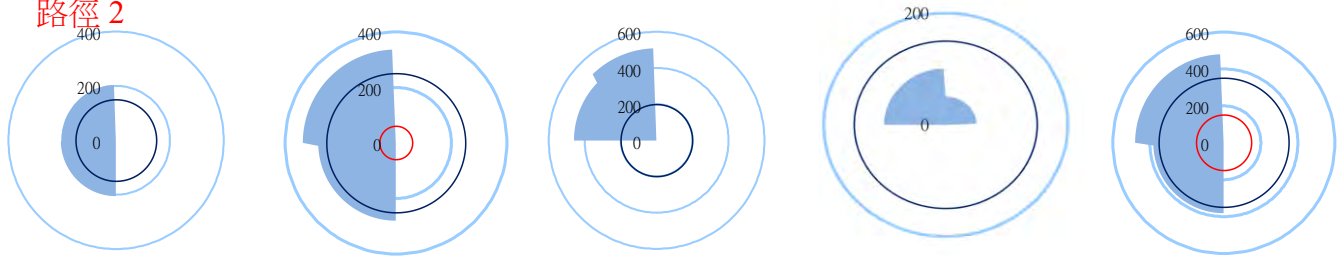
颱風名稱	艾貝 1986		黛特 1990		寶莉 1992		提姆 1994	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	WNW922.8km	WNW 693km	WNW 734km		NW362km		WNW 584km	NW371km
短軸	NNW651km	SW64.7km	NNW589km		SW120.3km		NNW428km	NE253.6km
預報	400km	150km	350km	100km	200km		250km	120km

颱風名稱	奧托 1998		泰利 2005		龍王 2005		海棠 2005	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NE402.9km	NW106km	NW321.27km	SW232.52km	NW239.82km		NW422.58km	SW227.17km
短軸	NW106km		SW257.4km	NW194.42km	SW204km		SW227.91km	EN127.77km
預報	150km		200km	50km	200km	80km	280km	120km
颱風名稱	梧提 2007		莫拉克 2009		麥德姆 2014			
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈		
長軸	NW410.km		NW512km		NW325km			
短軸	NS118.8km		SW329.22km		NE249.6km			
預報	100km		250km	80km	200km	80km		

### 3. 路徑 4 (西行過台灣南部)

颱風名稱	珀西 1980		安迪 1982		黛特 1982		帕布 2007	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NNW813.8km	WNW536km	WNW600km	NNW448.3km	WNW464.8km		W304km	
短軸	WNW638.3km		NNW595.5km	WNW438.8km	NNW425.4km		E46.72km	
預報	200km		300km	100km	200km	100km	150km	

#### 路徑 2



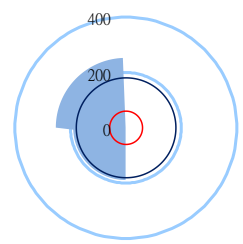
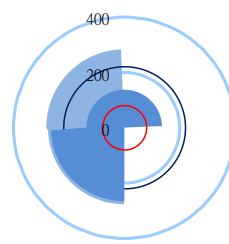
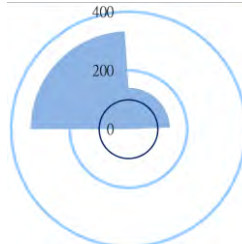
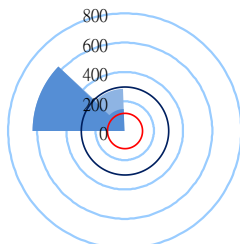
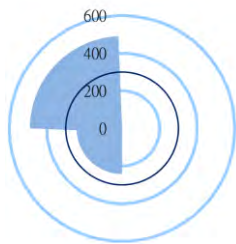
黛拉 1978

諾瑞斯 1980

芙瑞達 1984

愛麗 1991

賀伯 1996



碧利斯 2006

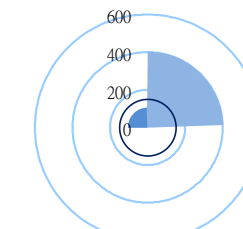
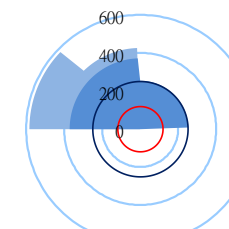
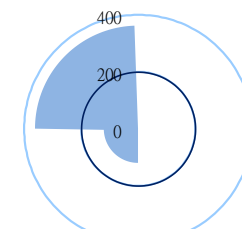
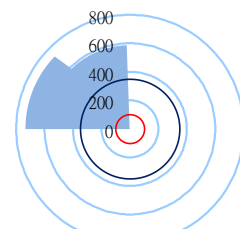
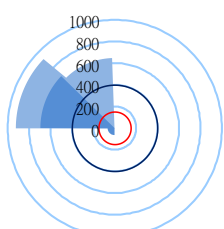
柯羅莎 2007

卡玫基 2008

杜鵑 2015

尼莎 2017

#### 路徑 3



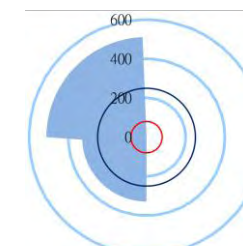
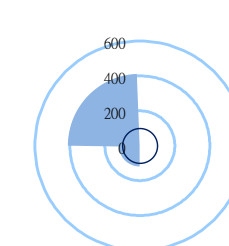
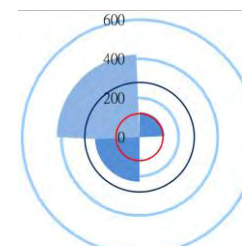
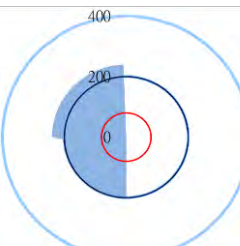
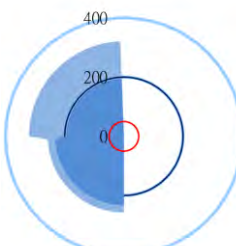
艾貝 1986

黛特 1990

寶莉 1992

提姆 1994

奧托 1998



泰利 2005

龍王 2005

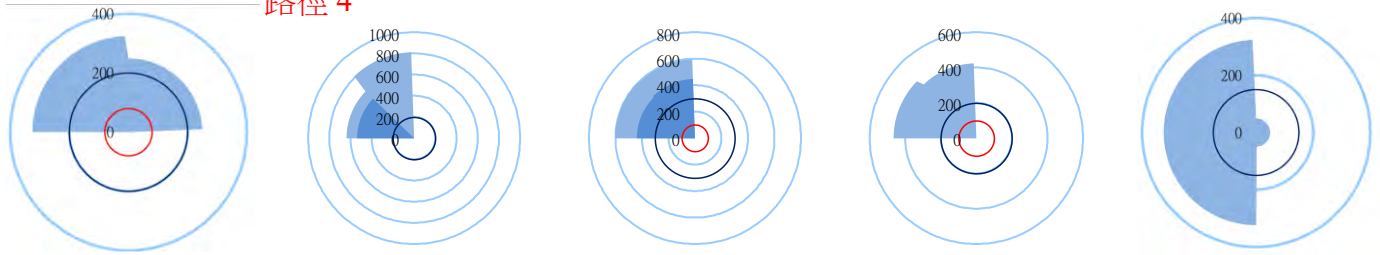
海棠 2005

梧提 2007

莫拉克 2009

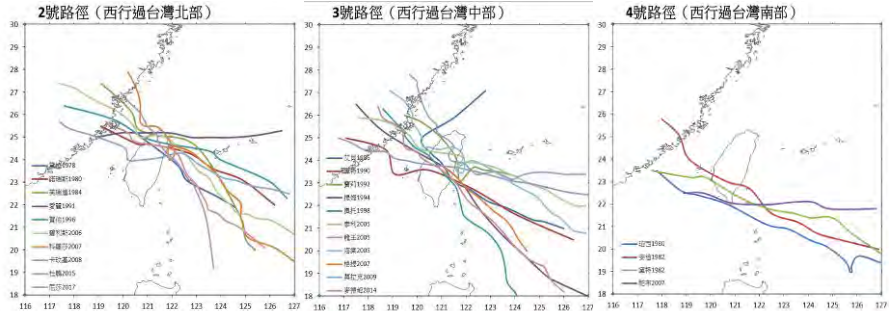


路徑 4



麥德姆 2014      珀西 1980      安迪 1982      黛特 1982      帕布 2007

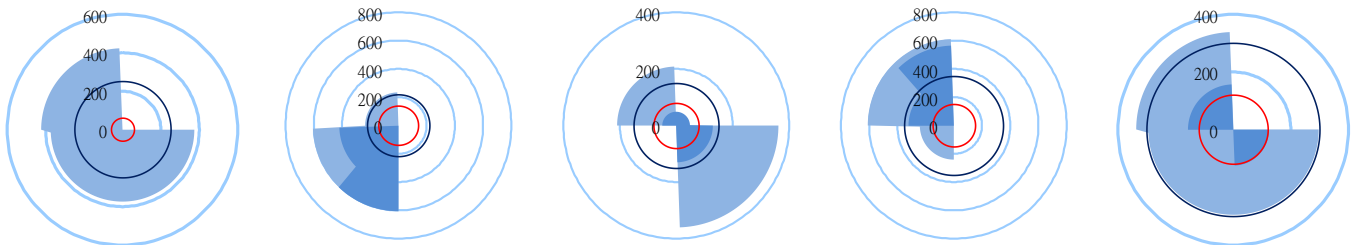
路徑 2、3、4 號颱風過山前，因受到東北側高壓環流導引，颱風偏向西北行，西側或西北側風場較大（行進方向的右前方）。



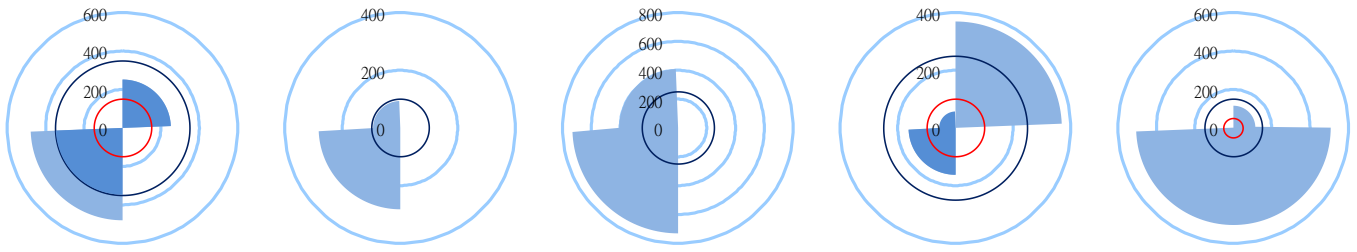
二、分析北行颱風之實測半徑

(一) 路徑 6 (自東部海面北上)，分析暴風半徑

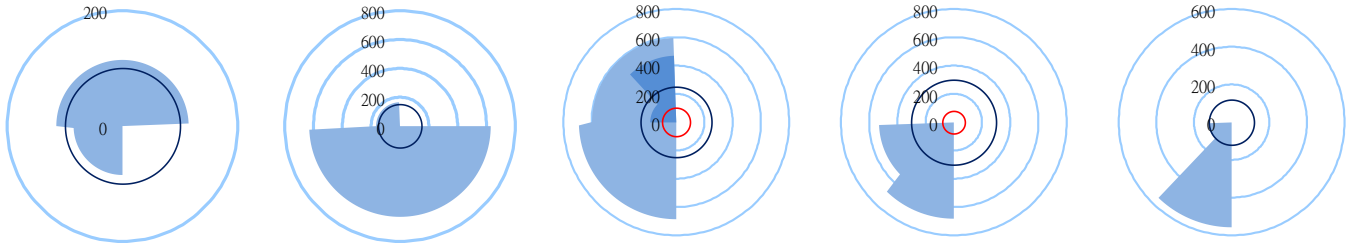
颱風名稱	裘恩 1981		西仕 1982		亞力士 1984		席斯 1994	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	七級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NW423.6km		SW606.2km	SSW606.21km	SE360.68km	N48.85km	NW610km	NNW565km
短軸	S374km		NW236.3km	WSW417.3km	NW208.84km	SE129.5km	SW241km	WNW321km
預報	250km	60km	220km	350km	350km	80km	350km	150km
颱風名稱	道格 1994		瑞伯 1998		楊妮 1998		巴比倫 2000	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NW337.9km	NW156.6km	SW480.2km	SW348.3km	SW282.3km		SW731.5km	
短軸	S296.4km	SE124.3km	NE252km	NE252.2km	NW94.2km		NW408km	
預報	300km	120km	350km	150km	100km		250km	
颱風名稱	象神 2000		啟德 2000		海馬 2004		敏督利 2004	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NE368.8km	SW162.6km	S506km		N114.8km		S 629.6km	
短軸	SW162.6km	NW57.2km	NE113.9km		SW85.4km		NW166km	
預報	250km	100km	150km	50km	100km		150km	
颱風名稱	納坦 2004		艾維尼 2006		康芮 2013		馬勒卡 2016	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	SW687.8km	NNW472.3km	SSW682.8km		SSW557.7km		SW185.81km	
短軸	NW595.1km	WNW184.7km	SWW530.4km		SW122km		NW101.21km	
預報	250km	100km	300km	80km	120km		180km	60km



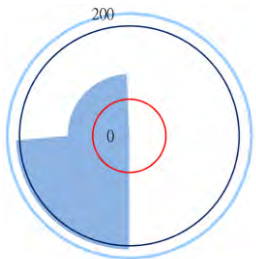
裘恩 1981(西北大)    西仕 1982(西南大)    亞力士 1984(東南大)    席斯 1994(西北大)    道格 1994(西北大)



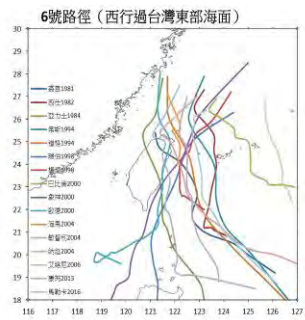
瑞伯 1998 (西南大) 楊妮 1998 (西南大) 巴比侖 2000 (西南大) 象神 2000 (東北大) 啟德 2000 (南大)



海馬 2004 (北大) 敏督利 2004 (南大) 納坦 2004 (西南大) 艾維尼 2006 (南大) 康芮 2013 (南大)



馬勒卡 2016 (南大)



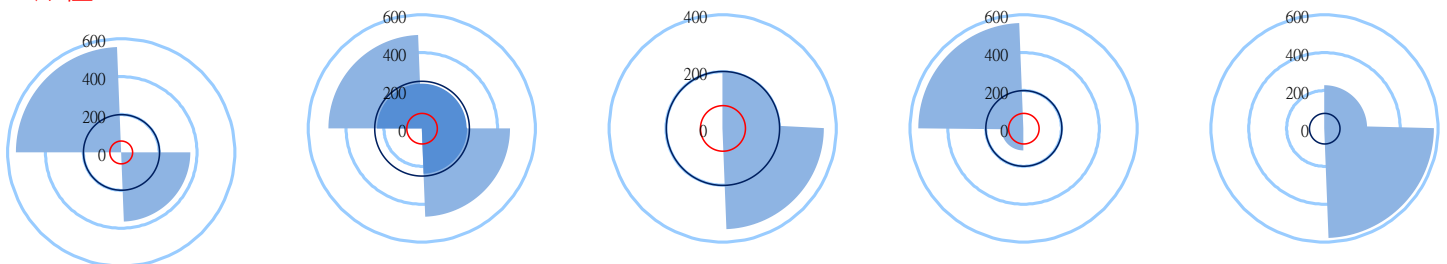
颱風北行過台灣東部海面時，常因引進西南風的影響導致大多南側大於北側；而部分北行颱風則會因為來臨時期為秋、冬季，受到東北季風影響，以致北側較大，如：象神、海馬等。

## (二) 路徑 7、8、9 (自台灣南方北上)，分析暴風半徑

### 1. 路徑 7 (沿西部北上)

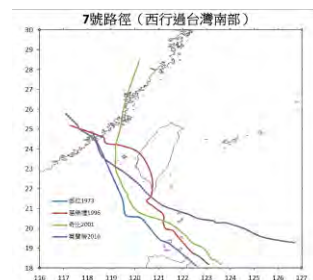
颱風名稱	娜拉 1973		葛樂禮 1996		奇比 2001		莫蘭蒂 2016	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NW556.6km		NW493.25km	SE239.24km	SE355.3km		NW556.5km	
短軸	ES366.0km		SE466.33km	N236.82km	NE200.0km		SW116.7km	
預報	200km	60km	250km	80km	200km	80km	200km	80km
颱風名稱	海棠 2017							
	七級風圈	十級風圈						
長軸	SE579.2km							
短軸	NE226.4km							
預報	80km							

### 路徑 7



娜拉 1973 (西北大) 葛樂禮 1996 (西北大) 奇比 2001 (東南大) 莫蘭蒂 2016 (西北大) 海棠 2017 (東南大)

路徑 7 颱風偏西北行，大多北側大於南側，部分颱風因引進西南風，南側風場較大。



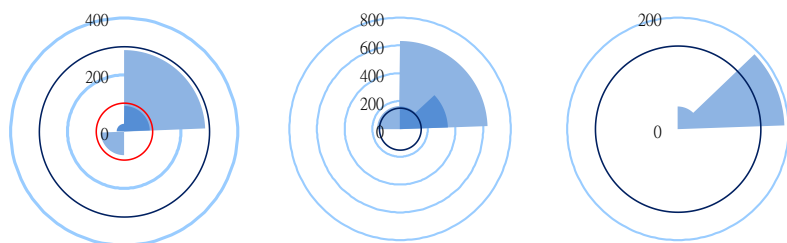
### 2.路徑 8 (沿東部北上)

颱風名稱	賴恩 1995		凱姆 1996		米勒 2003	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NE285.57km	NE89.91km	NE631.91km	ENE348.11km	ENE193.0km	
短軸	SW82.53km	NW26.91km	NW165.54km	NNE161.39km	NNE 40.6km	
預報	300km	100km	150km		150km	

### 3.路徑 9 (東行或東北行過台灣前)

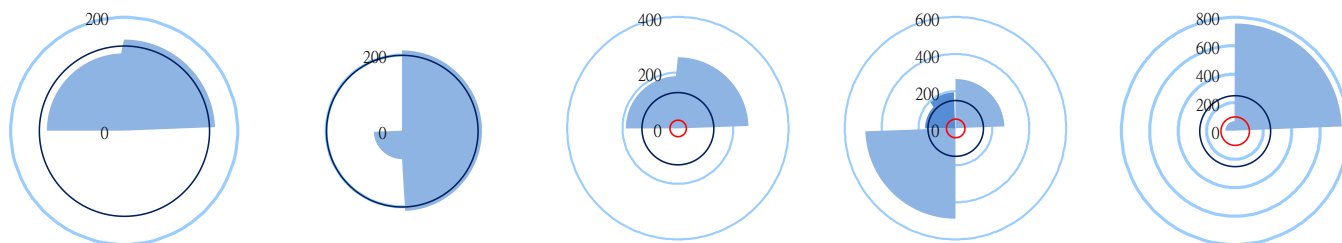
颱風名稱	裘迪 1966		艾爾西 1966		艾克 1981		蘇珊 1988	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NE160.39km		E211.75km		NE255.04km		SW487.7km	NNW194.6km
短軸	NW136.09km		SW74.84km		NW187.7km		NE265.44km	WNW165.1km
預報	150km		200km		130km	30km	150km	50km
颱風名稱	瑪麗安 1990		娜克莉 2002		南瑪都 2004		萊羅克 2010	
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈
長軸	NE753.99km		SW137.54km		NE248.64km		ENE99.22km	
短軸	NW67.28km		NE111.34km		NW173.2km		NNE 85.58km	
預報	250km	100km	80km		200km		100km	
颱風名稱	梅姬 2010		泰利 2012					
	七級風圈	十級風圈	七級風圈	十級風圈				
長軸	NE556.7km		NE396.31km					
短軸	SE184.57km		S179.27km					
預報	250km	100km	150km					

#### 路徑 8

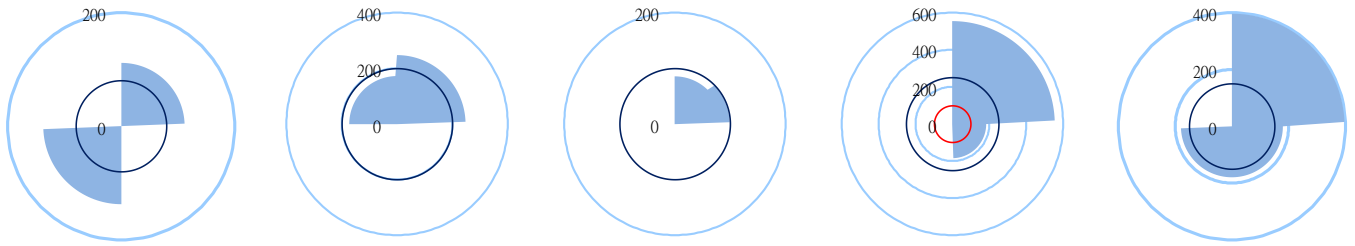


賴恩 1995 (東北) 凱姆 1996 (東北) 米勒 2003 (東北東)

#### 路徑 9

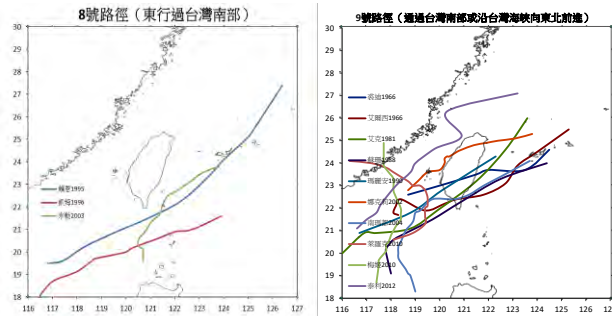


裘迪 1966 (東北) 艾爾西 1966 (東) 艾克 1981 (東北) 蘇珊 1988 (西南) 瑪麗安 1990 (東北)



娜克莉 2002(西南大) 南瑪都 2004(東北大) 萊羅克 2010(東北東大) 梅姬 2010(東北大) 泰利 2012(東北大)

8、9 號路徑的颱風，大多東北側強，部分颱風引進西南風，偶有南側大的情形。

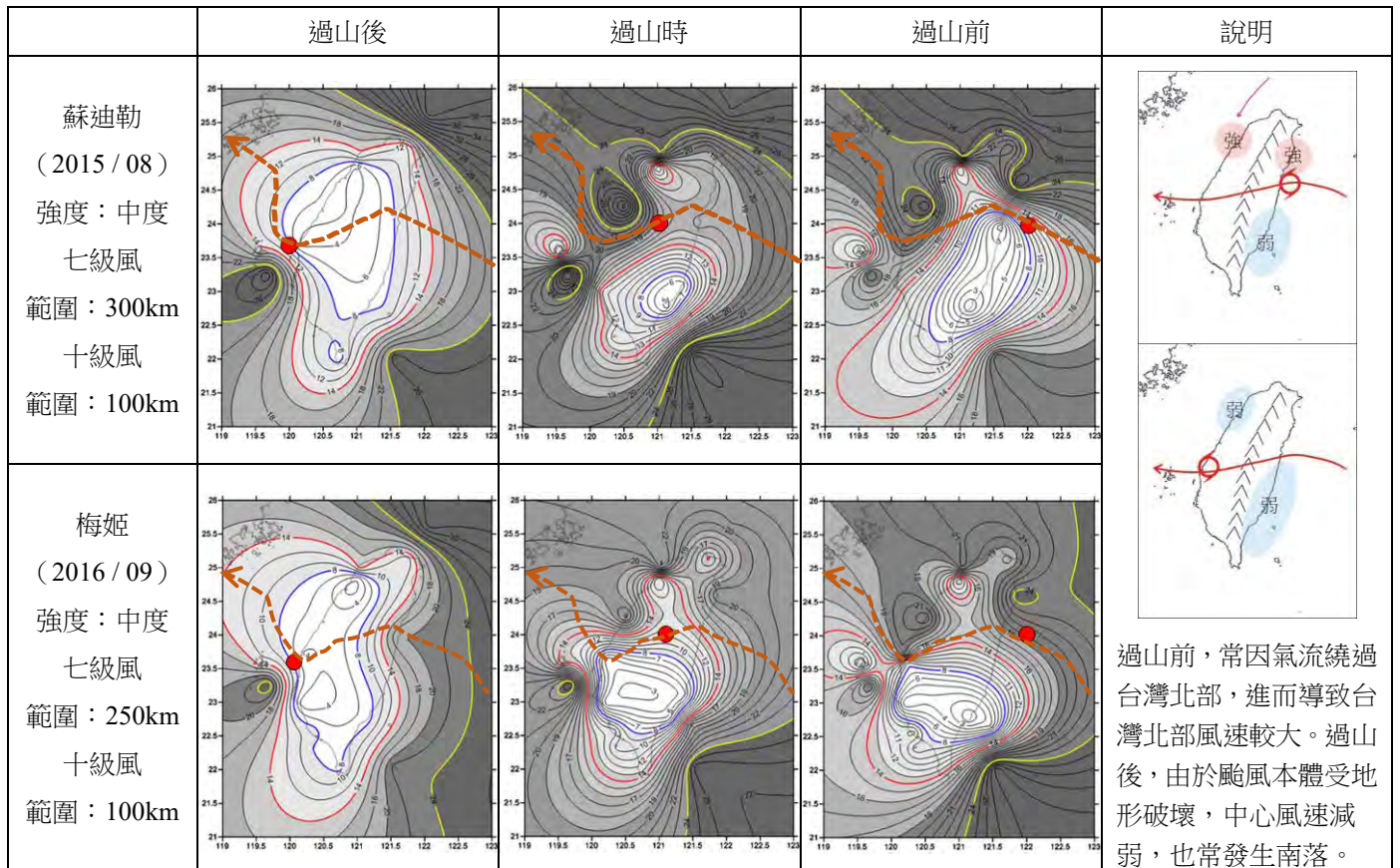


### 三、分析颱風過山前後的風場變化

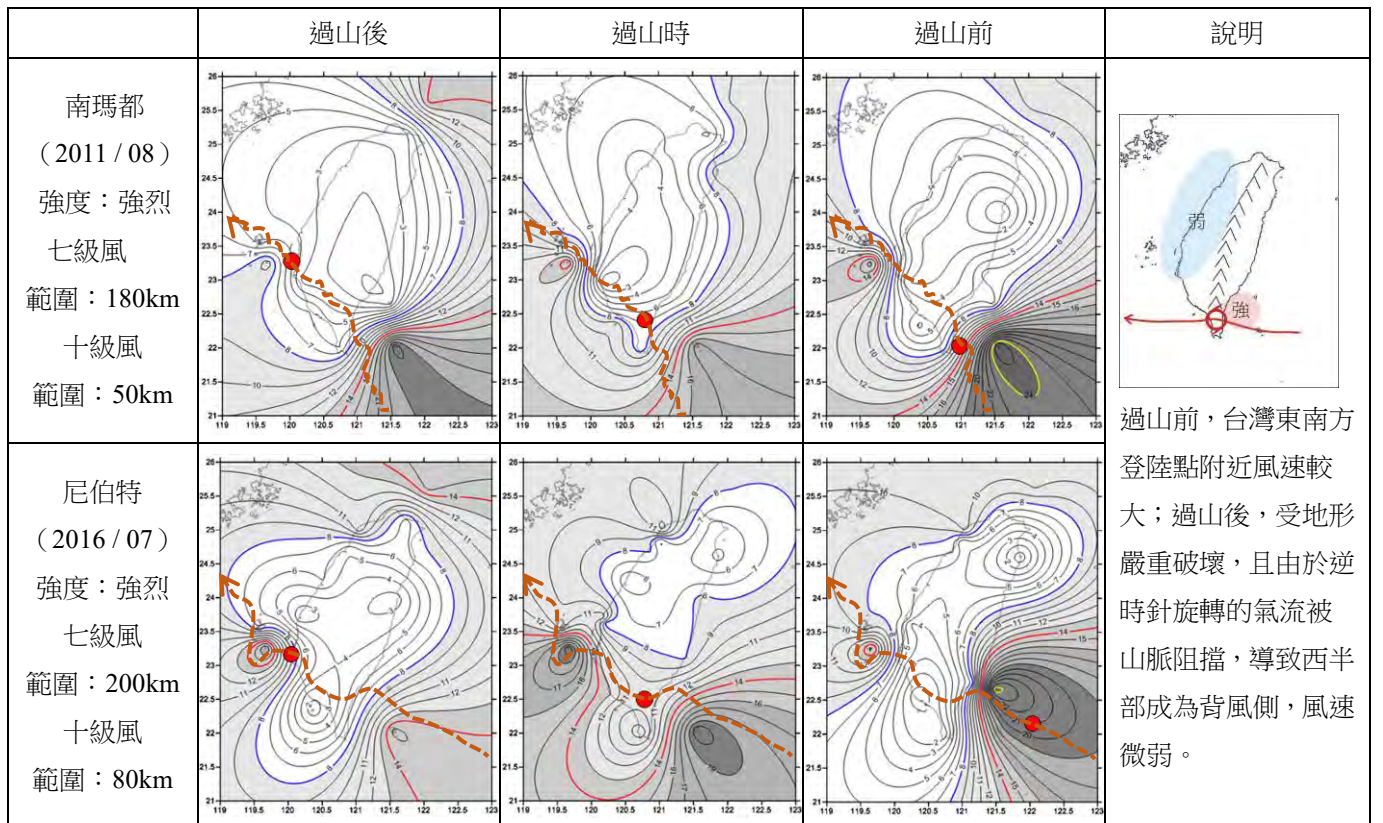
#### (一) 路徑 2 (西行過北台灣)，分析風場變化

	過山後	過山時	過山前	說明
賀伯 (1996 / 07.08) 強度：強烈七級風 範圍：350km 十級風範圍：150km				 過山前，颱風南側風場的风速較微弱。過山後，台灣東部因位於氣流背風側，形成一個巨大弱風尾流區，蘭嶼則因不受地形阻礙，與台灣本島相較之下風速較大。路徑上，颱風經常有繞過北台灣再南落的現象。
蘇力 (2013 / 07) 強度：強烈七級風 範圍：280km 十級風範圍：100km				

(二) 路徑 3 (西行過中台灣)，分析風場變化



(三) 路徑 4 (西行過南台灣)，分析風場變化

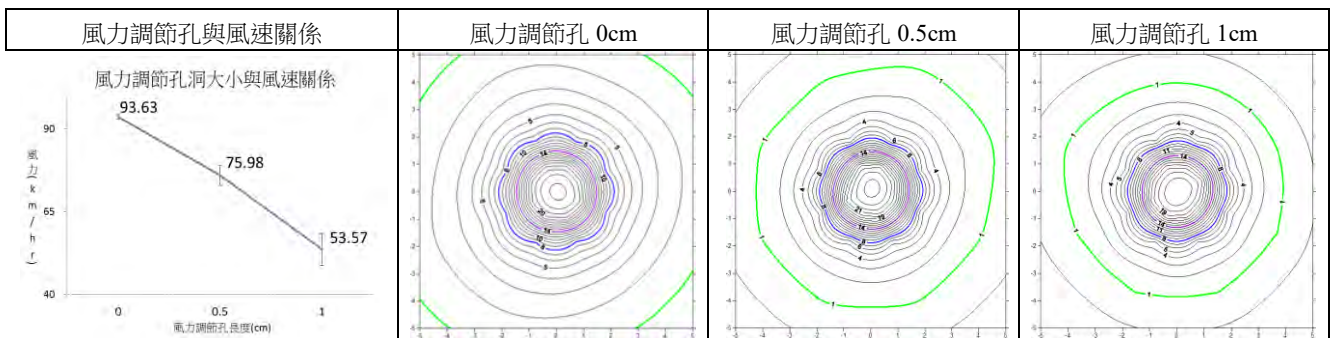


(四) 路徑 9 (東行或東北行過台灣)，分析風場變化

	過山後	過山時	過山前	說明
娜克莉 (2002 / 07) 強度：輕度 七級風 範圍：80km 十級風 範圍：0km				 逆時針旋轉氣流受山脈阻擋，導致台灣西半部位於背風側，風速微弱；中心普遍風速小。
南瑪都 (2004 / 12) 強度：中度 七級風 範圍：200km 十級風 範圍：0km				

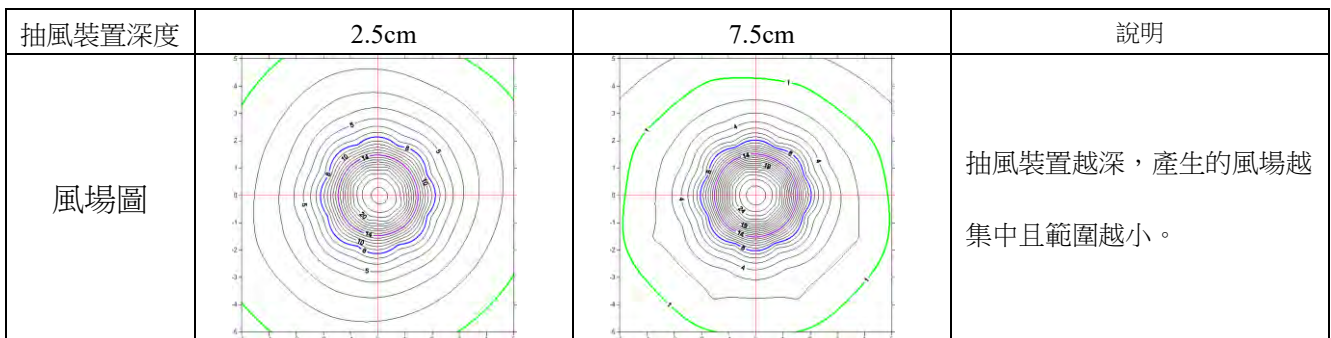
四、風場對稱性實驗模擬

(一) 模擬不同強度

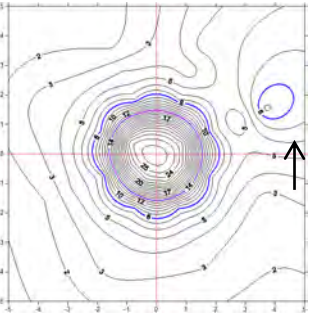
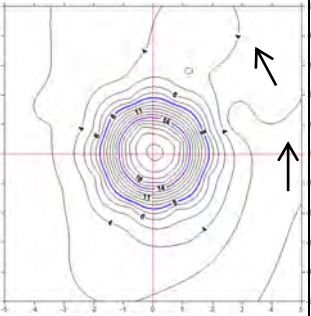
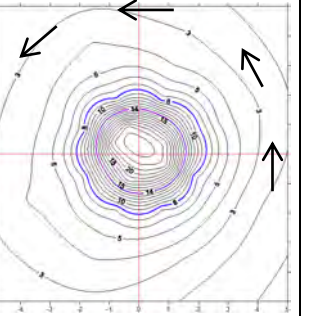


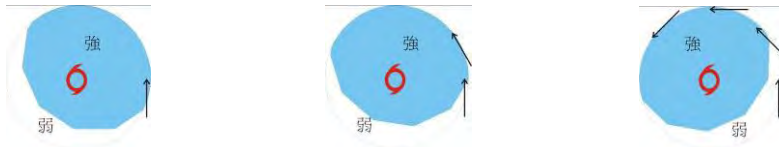
抽風裝置上的氣流控制孔打開愈大，模擬颱風強度愈小，風場也較小。

(二) 模擬不同範圍

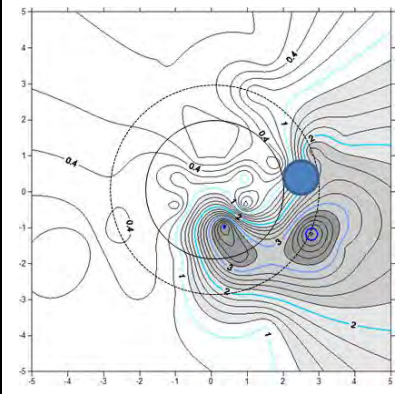
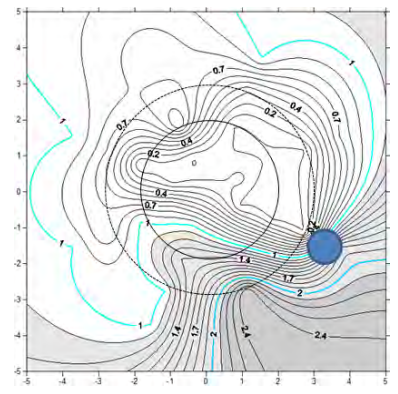
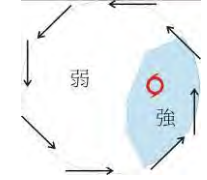


(三) 模擬不同對稱性

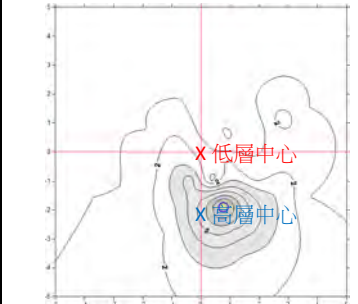
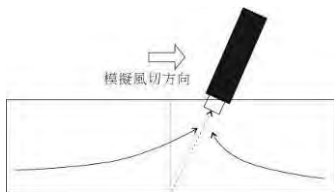
開洞數	開 1 洞	開 2 洞	開 4 洞	說明
開洞位置	1 號	1、2 號	1、2、3、4 號	在開 1 洞、2 洞或 4 洞時，可以在打開的洞口（箭頭前方）發現最大風速，而在洞口後方則有最小風速。且可發現中心位置往風速較大的區域略為偏移。
風場圖				



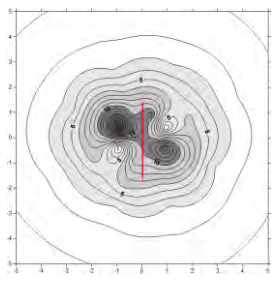
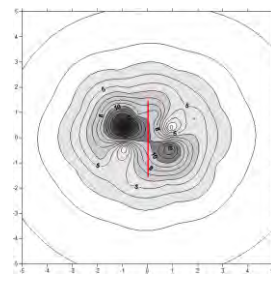
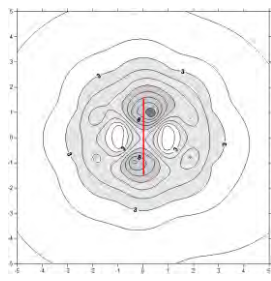
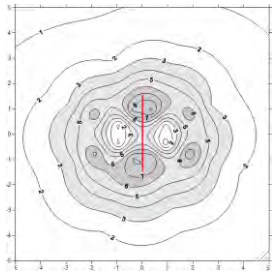
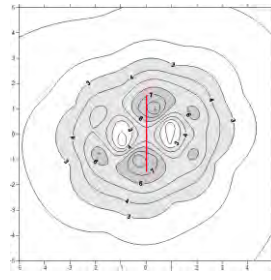
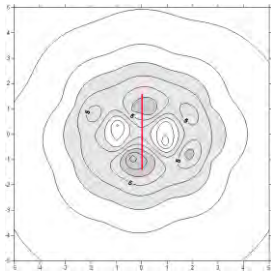
(四) 模擬颱風中心位置偏移

	中心放置於第二圈	中心放置於最外圈	說明
中心位置 放置處 (藍點)			 <p>當颱風中心偏移時，中心近風口處直接引進氣流，導致中心靠近邊緣一側風力較強，遠離邊緣一側風力較弱。此實驗可模擬氣壓梯度的不對稱。</p>

(五) 模擬風切造成的影響

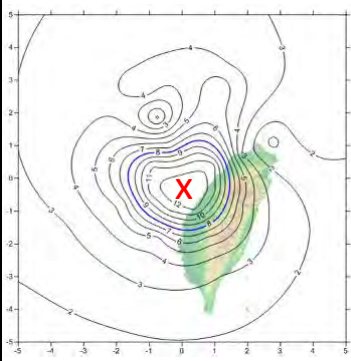
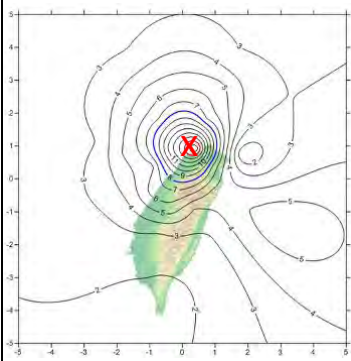
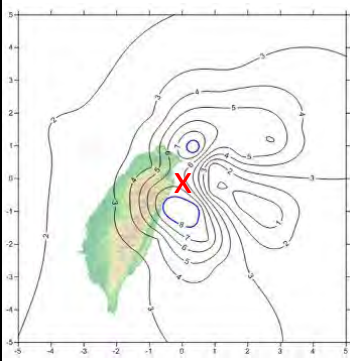
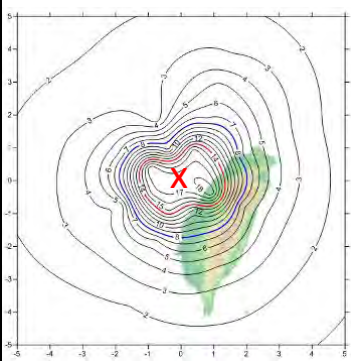
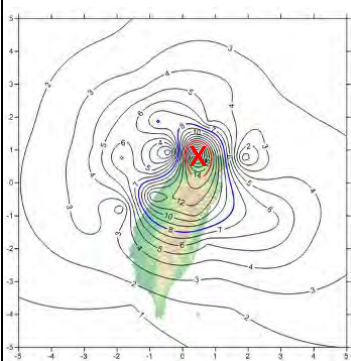
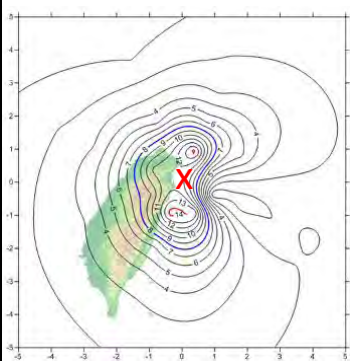
中心放置方向	由外往內	說明
風場圖		 <p>我們將抽風裝置傾斜，模擬高低層中心傾斜（風切），發現高層中心附近（藍色 X）有較強的風速。</p>

(六) 模擬障礙物高度造成的影響

障礙板 風力	0cm (93.63km/hr)	0.5cm (75.98km/hr)	1cm (53.57km/hr)	說明
4cm 高 12cm 長				<p>氣流受到障礙板影響，於背風側形成一副低壓。</p> <p>且我們發現當風速愈弱或障礙板高度愈高時，弱風尾流區愈明顯。</p>
5cm 高 12cm 長				

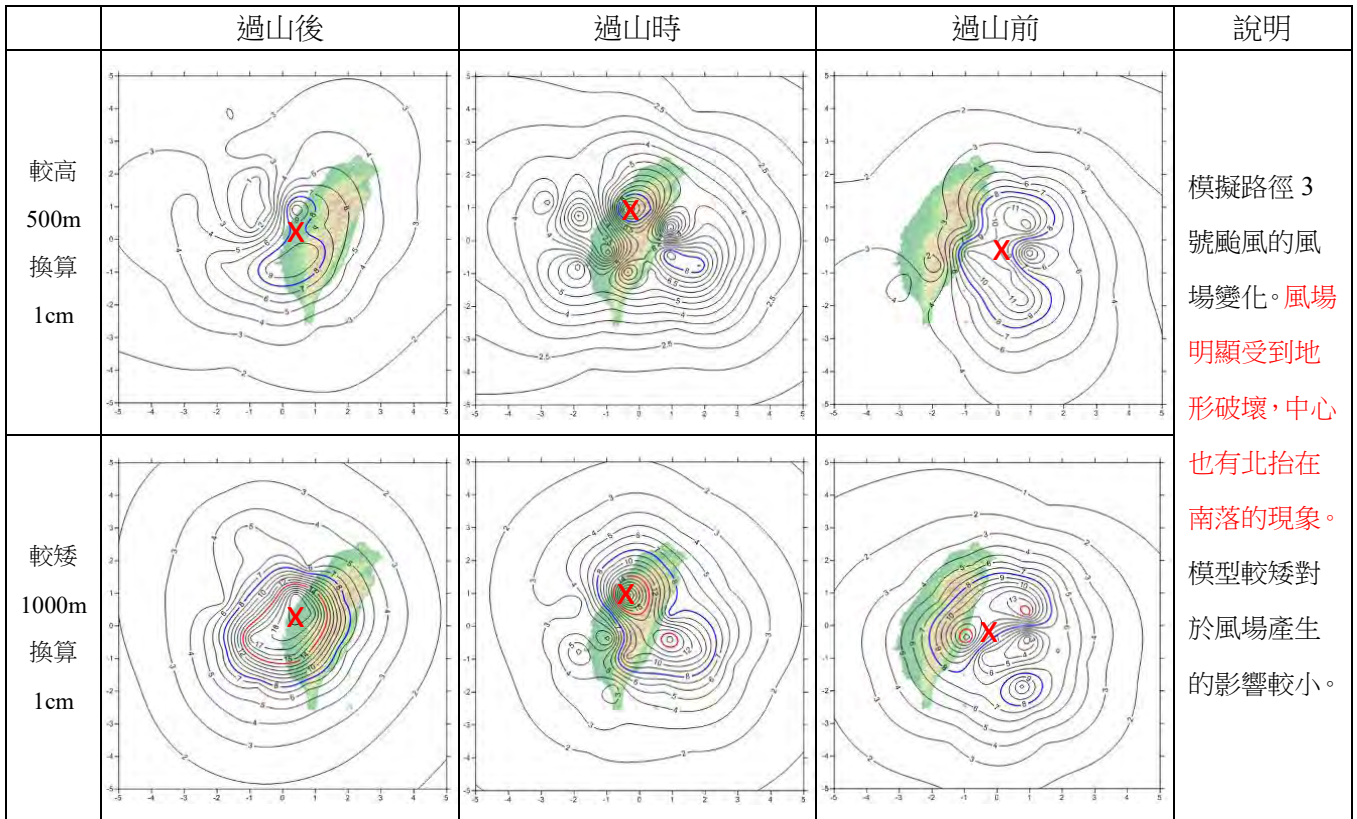
(七) 模擬不同比例台灣模型造成的影響

1. 中心在北部

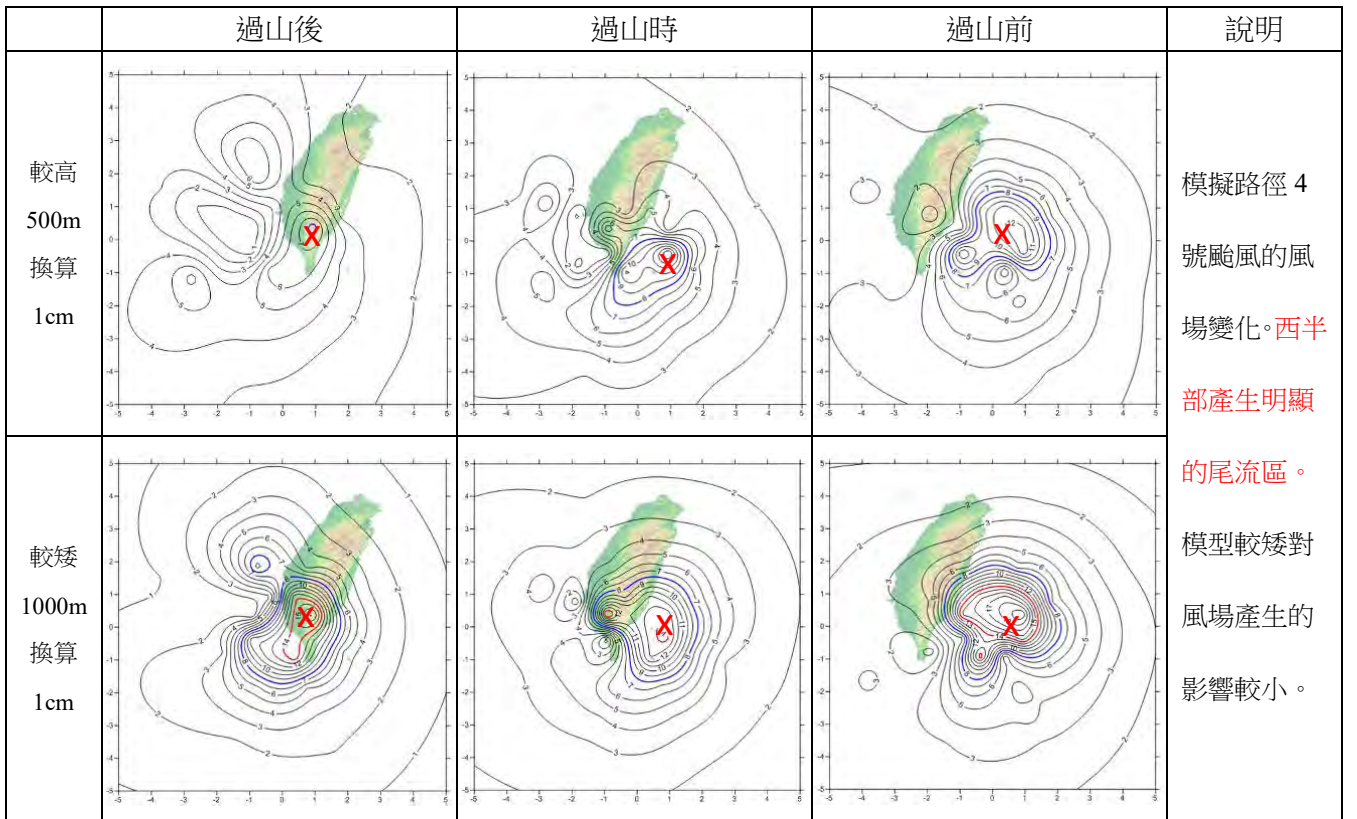
	過山後	過山時	過山前	說明
較高 500m 換算 1cm				<p>模擬路徑 2 號颱風的風場變化。</p> <p>中心先北抬繞過北部再南落。</p> <p>台灣模型高度愈低，風場影響較小。</p>
較矮 1000m 換算 1cm				



## 2. 中心在中部



## 3. 中心在南部



我們於氣流場內放置台灣模型於不同位置（北、中、南），發現風場受台灣地形影響於背風側產生弱風尾流區，迎風側出現較大風速，與實際颱風風場分析結果接近。我們認為，台灣模型比例為 1cm : 500m 時影響較顯著，且應考量過山減弱程度調節風力，較符合實際的情況。

## 陸、討論

颱風是在熱帶地區海面上形成的低氣壓系統，因不穩定的低層大氣產生對流狀況，高溫使水氣蒸發向上抬升，水氣凝結釋放潛熱，大氣被加熱後使對流更加旺盛，四周空氣持續向低壓中心輻合，對流狀況持續增強，近中心持續風速達每秒 17.2 公尺或以上，形成颱風。

### 一、各國颱風預報方式的比較

我國中央氣象局（CWB）在預報颱風路徑時，以正圓形的方式繪製颱風風場，且颱風中心定於正圓形中心。日本氣象廳（JMA）在颱風預報上，使用橢圓形來繪製其颱風風場圖，且颱風中心未定於中央位置，而美軍聯合颱風警報中心（JTWC）則是將颱風風場分成四個象限，且每個象限都給予不同半徑，由四個扇形組合成一個颱風風場預報圖。近年氣象局也參考追風計畫所得數據進行分析，在颱風警報單上註明颱風的長短軸。

### 二、未過山前實際與預報差距

為了分析未受地形影響的颱風風場對稱性，我們做了一個假設，若實際颱風風場為正圓、且不受地形破壞或強度變化，則該測站在七級風開始及結束時，颱風中心與測站的兩個距離均應相同。若不同，也想知道風場之所以不對稱會是何種原因造成。

我們從侵台颱風資料庫蒐集分類於路徑 1（西行過北台灣海面）、路徑 2~4（過台灣登陸前）、路徑 5（西行過南台灣海面）、路徑 6（北行過東台灣海面）、路徑 7~9（從台灣海峽南部北上）等颱風，利用颱風警報單上所得的資訊，篩選不受地形影響、強度變化不大的颱風，並向氣象局申購測站資料，分析測站（彭佳嶼、蘭嶼、東吉島）從「七級風開始、結束」時，與颱風中心的距離及方位，藉此了解風場是否對稱。

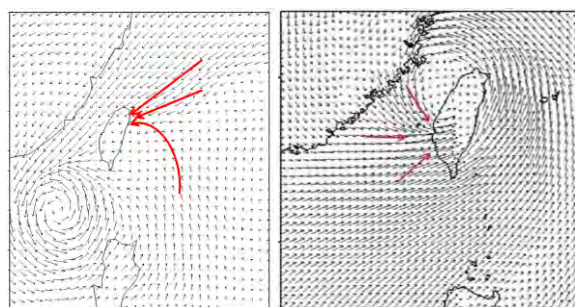
我們發現路徑西行颱風（路徑 1~5）普遍西側大於東側、北側大於南側，因高低氣壓配置及東北信風引進所影響。氣象局的「颱風百問」中提及：一般而言在北半球行進中的颱風其右前方象限的風最大，因為颱風該象限環流風向與導引氣流（駛流場）風向相同（Shea and

Gray, 1973), 且西行颱風行進方向右前象限吹東北風與西太平洋的東北信風合併增強風速, 右後及左前象限則是吹偏南與偏西的風, 與東北信風抵消風勢較小, 左後象限的風最小。但部分颱風引進西南風, 使東南側較大。且氣象局給予該颱風之暴風半徑普遍**低估**, 可能是台灣的多山環境會對風速造成削減, 因此半徑預估會較保守。



圖十二、颱風在 900hPa 等壓面上內平均風速分布示意圖 (圖自 Shea and Gray, 1973)

北行颱風中的路徑 6 號颱風風場大多南側大於北側, 我們認為此時高壓偏東, 台灣位於低壓區, 西南季風引入, 但有些颱風如: 象神 (2000)、海馬 (2004) 北側大於南側, 接近台灣的時間為 9 月之後, 有東北季風吹拂。艾寧靜 (2012) 的報告中提及, 颱風常與西南季風或東北季風共伴配合地形產生極端降雨, 我們認為, 北行颱風須考量季風之影響而調整暴風圈的預報。

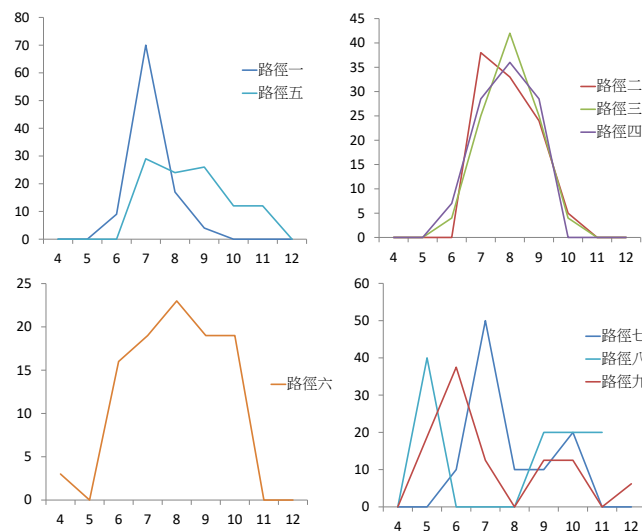


圖十三、梅姬 (2010) 與莫拉克 (2009) 之風向量圖

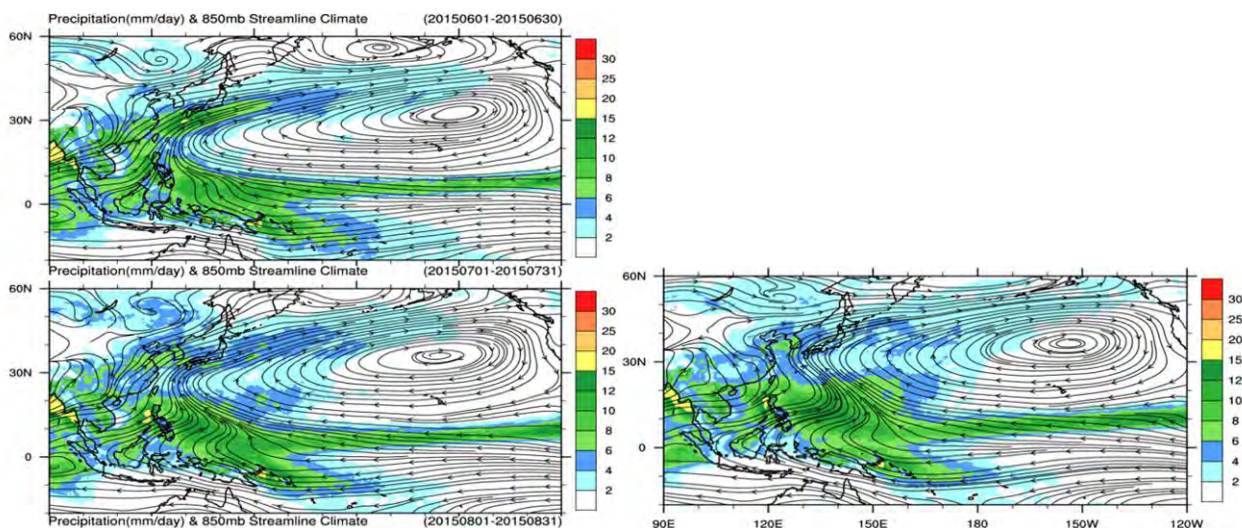
路徑 7、8、9 號的颱風, 多屬於南海生成的颱風, 行進路線較特別, 大氣環境複雜, 颱風數量相對較少, 其中有些颱風在行進的過程中, 受到西南風的導引, 往偏東北的方向前進, 部分颱風因與東北風或鋒面共伴, 以致北側風場較大。

我們將 1970-2017 年之間, 有發警報的各路徑的颱風統計, 發現以下現象: 路徑 1 號 (通過北台灣海面) 颱風主要出現在七月, 走路徑 5 號 (通過南台灣海面) 的颱風發生在七到九月, 走路徑 2~4 號穿過台灣的颱風集中在七到九月, 八月最多;

路徑 6 號 (東部海面北上) 的颱風從六月到十一月都有; 路徑 7 與 9 號則多為春秋兩季; 造成此一現象的原因可能是太平洋高氣壓的位置, 駛流場風向等。氣象局統計了高氣壓的強度和位置發現, 六至八月之間, 高氣壓位置北移、西伸且增強, 造成颱風的路徑差異。



圖十四、1970-2017 年各路徑侵台颱風所占比例



圖十五、太平洋高壓的位置移動（圖自中央氣象局）

太平洋高氣壓有隨著月份往北移、增強且西伸的趨勢（6~8月）

### 三、過山颱風風場變化

在氣象局侵台颱風資料庫中，有百年路徑資料，可作為「類似」路徑之颱風預報參考，即所謂「類比法」（引用自王時鼎《台灣颱風》）。我們認為，路徑類似的侵台颱風，亦會產生類似的風場變化。

路徑 2（西行過北台灣）、路徑 3（西行過中台灣）路徑 4（西行過南台灣），在中心登陸台灣後受台灣高山破壞使颱風風場產生變化。我們希望能深入了解颱風風場受地形影響後的變化為如何，我們認為，在地形的影響下，有些地方是幾乎無法到達蒲福風級七級風以上（放假標準）的，而在比對類似的颱風路徑後，參照所分析的風場圖，以提高預報的參考價值。

除了大致氣流走向之外，夫如數（Froude number）也是探討流體力學的物理數據：算法是動能/位能比， $Fr=V/NH$ ，式中  $V$  為山脈上風面的特性風速， $N$  為常數， $H$  為局地山脈高度（王時鼎等，2003）。夫如數越大，代表具有爬山動能，可發生爬升流；夫如數小，代表不具有爬山動能，只能沿山而流或繞山而流，所以風場與颱風大小與強度有關。因此我們在後續氣流場模擬中，必須考慮風速、台灣地形的比例等。

此外，氣流與山脈產生摩擦作用，風速減弱，在西部沿海地區（彰化、雲林等地）形成副低壓，且逆時針旋轉氣流，在西部沿海地區吹陸風與流經台灣海峽的颱風氣流產生輻合作

用形成較大風速帶，稱為「噴流區」。當氣流與山脈夾角大 ( $\alpha > 70^\circ$ ) 且  $Fr < 0.5$ ，不易過山，在背風側常有「弱風尾流區」。颱風氣流由台灣東北方進入時，碰撞山脈而造成「分流效應」，以致宜蘭一帶位於分流區的弱風區則稱為「滯留區」，這些現象都會影響風場。(王時鼎等，2003)

#### 四、氣流場動力實驗模擬裝置

在第 55 屆科展作品—凌「雲」馭「風」—以霧化水分子氣流場模型模擬颱風在不同環境下的風場及路徑變化(郭宜玟等，2015)中設計了水霧氣流場模型，在雲層模擬上非常特別，但當年評審建議「量化」其觀察數據。我們曾想利用水槽，加入保麗龍球以 Tracker 軟體追蹤軌跡量化數據，但我們發現，風力極弱，要推動保麗龍球飄向中心要花很多時間，且常常黏在水槽邊緣，所以我們設法改良。

我們使用蛋糕盒圓柱體作為颱風風場，製作乾式氣流場動力實驗模擬裝置。我們發現：一、原先模擬水霧氣流場時使用的直流電源抽風裝置在此裝置中明顯吸力不足，即使將伏特數調至最大限度，風速計於風場最外圈仍無法測得風速。二、我們所使用的扇葉型風速計(如圖十六)



圖十六、扇葉型風速計

風速探頭面積大，在置入氣流場中測量風速時可能會阻擋氣流，影響實驗的精準度。我們改良的部分：一、將抽風機器改為吸力較強的吸塵器。二、以熱線式風速計測量風速，因測風面積縮小許多，細長的外型能夠探入盒底，測量底部風速，所得數據更趨精確。

我們分別以抽風裝置的風力調節孔、放置深度、引流孔開關數量、是否放置障礙板及改變障礙板高度、位置為操作變因，模擬強度大小不同、風場不對稱性及地形影響風場變化的颱風。我們發現，風力調節孔可以調整風力大小，改變抽風裝置深度時，風場大小為  $2.5\text{cm} > 5.0\text{cm} > 7.5\text{cm}$ ，可模擬不同範圍的颱風。而颱風的不對稱性與季風及高壓有關，因此我們利用氣流於八方位進入的均勻與否模擬對稱性及不對稱性的颱風，實驗組則為開 1、2、4 個洞口。經實驗模擬，我們得到結論：風場皆於開洞口位置前方出現最大風速，開洞口位置後方出現最小風速，可模擬因受季風及高壓影響風場出現不對稱性的颱風。

颱風風場在移動的過程中受到山脈阻擋時，可能會有沿山流、繞山流及爬山流等現象(王時鼎等，2003)，因此我們也嘗試利用壓克力板製作高度分別為 4cm、5cm、6cm 的障礙板，模擬山脈高度對於風場變化的影響，亦改變障礙板的位置模擬繞山流、尾流區等現象，我們發現改變障礙板高度時，障礙板高度與風速大小成反比。而當我們將障礙板置於颱風中心正下方時，障礙板兩側風速明顯較外圈風速小，有尾流區出現，尾流區外有風速較強的噴流區。

關於風切的影響，我們在文獻中得知，颱風會在下風切處對流增強，上風切處對流發展不易，因而導致不對稱(江孟恆，2015)。我們將抽風裝置傾斜指向低層中心(風場中央)，觀察風場結構，雖然這個方法不見得能模擬風切造成的颱風熱力學變化，但依然觀察到高層中心附近下方風力較強的結果，我們針對這部分還需要再深入探討。

我們也製作了等比例縮小的台灣模型高度分別為 500 公尺換算成 1 公分或半公分，繪製等高線圖並以雷射切割機製作台灣模型，且將台灣模型置於氣流場中央、向上平移三單位及向下平移三單位，以模擬颱風中心位於北台灣、中台灣及南台灣時的風場變化，模擬結果顯示，受地形阻擋影響，氣流在山脈背風側出現弱風尾流區，外圍氣流繞過山脈後，旋入山脈另一側出現較大風速。另外，我們亦利用左右平移台灣模型模擬路徑 2、3、4 路徑過山前後的風場變化情形，並與我們所分析的結果相比，情形甚為一致。比例較高的地形影響風速相對較大，也比較接近實際狀況。

本研究認為：氣流場裝置是可行的模擬方式，也可以利用阻力最小的熱線式風速計測量風速大小，在下次的延續實驗中期待八個開口的引流孔可以設計得更細緻，才能用於考慮延伸流、繞山流、混合流等流型、東北季風、西南氣流的共伴、夫如數的模擬等。未來，也希望有機會繼續調整風場模擬裝置，模擬颱風高低層分離、駛流場帶動颱風前進的過程。

## 柒、結論

- 一、為了分析侵台颱風風場的不對稱性，及在預報與實測上的差距，本研究嘗試分析各測站的實際風速資料，並與氣象局颱風警報單進行比對，且設計氣流場動力模型，以模擬不同對稱性及過山前後颱風風場狀況。
- 二、在不考慮地形破壞的颱風風場分析上，本研究選擇氣象局颱風分類的 1~9 號過山前未受地形破壞 84 個颱風加以分析，並選擇蘭嶼、彭佳嶼、東吉島等測站的風速資料加以比對，我們發現：
  - (一) 1 號路徑（西行過北台灣海面）上，大多為西側寬度 > 東側，我們認為是北部高壓及東北信風所影響，寬度上西側約是東側的 170%，氣象局的預報資料有低估的趨勢，不過例外的情形有傑夫（1985）、桑美（2006）、潭美（2013）。
  - (二) 5 號路徑（西行過南台灣海面）上，皆是西側寬度 > 東側，我們認為是北部高壓所影響，寬度上西側大約是東側的 280%，而中央氣象局的颱風警報單上，所標示的暴風半徑範圍大約是東側的 190%。
  - (三) 2、3、4 號路徑過山前的風場大小，我們大多以蘭嶼及彭佳嶼風速加以分析，我們發現通常北側寬度 > 南側，應是受高壓分布所影響，寬度上北側大約是南側的 230%。
  - (四) 6 號路徑（北行過東台灣海面）上，通常是南側寬度 > 北側，我們認為與高壓位置偏東南及颱風南側引進西南風有關，寬度上南側大約是北側的 260%，氣象局的預報資料有南側低估、北側高估的趨勢。而部分北行颱風如海馬、象神等為入秋後來台，因西南氣流減弱，且東北季風增強造成北側寬度 > 南側，寬度上北側大約是南側的 170%。
  - (五) 7 號路徑颱風偏西北行，大多北側大於南側，部分颱風因引進西南氣流，南側風場較大。
  - (六) 8、9 號路徑的颱風，東側氣壓梯度大，行進方向右前方的東北側強，部分颱風引進西南風，偶有南側大的情形。寬度上北側通常大約是南側的 290%。

三、在將地形納入颱風風場變化分析中，本研究選擇氣象局颱風分類的 2 號、3 號、4 號、9 號路徑共 19 個颱風加以分析，並利用全台共 20 個測站繪製風場圖，我們發現：

- (一) 當颱風中心於台灣北部登陸（路徑二）時，逆時針旋轉得氣流加上因狹管效應可見中部梧棲一帶風速較大，過山後，台灣東部因位於氣流流經山脈背風側，形成一弱風尾流區，台灣東部外海則因蘭嶼本身不受地形阻礙，再加上角隅效應，與台灣本島相較之下風速較大。此外，此路徑颱風常有中心繞過北部南落情形。
- (二) 當颱風中心於台灣中部登陸（路徑三）時，在往西北西方向前進的過程中，會因颱風本身西北風環流造成中部以北出現較大風速，過山後颱風受到地形嚴重破壞，也常發生南落，如本研究所分析的蘇迪勒（2015）、梅姬（2016）颱風等。
- (三) 當颱風中心於台灣南部登陸（路徑四）時，台灣東南側登陸點附近風速較大，在颱風中心過山後，受地形嚴重破壞，且西半部在背風側，風力微弱。
- (四) 當颱風自台灣海峽北上（路徑九）時，由於逆時針旋轉氣流遭受台灣山脈阻擋，導致台灣西半部位於背風側，風速微弱，而中心普遍風速小。

四、在氣流場動力模擬實驗中，我們發現：

- (一) 當改變抽風裝置開口（風力調節孔）大小時，可模擬不同強度的颱風。開口越小強度越強，範圍也較大。
- (二) 當改變抽風裝置之深度時，可模擬不同範圍的颱風。放置位置越深，範圍越小。
- (三) 當改變關閉引流孔的數量及位置時，我們利用氣流場模擬出的颱風會因為氣流場內流體供給強弱的改變，使風場對稱性產生變化。
- (四) 當改變抽風裝置放置位置時，可模擬颱風中心位置偏移的情形（氣壓梯度的不對稱），在中心較靠近邊緣一側的前方出現較大風速，遠離邊緣一側出現較小風速。
- (五) 將抽風裝置傾斜指向低層中心（風場中央），觀察風場結構，雖然這個方法不見得能模擬風切造成的颱風熱力學變化，但依然觀察到高層中心附近下方風力較強的結果，針對這部分還需要再深入探討。
- (六) 當於氣流場內放置單片障礙物時，可模擬颱風風場因地形阻礙，風速較強時，背風側產生負低壓漩渦，而風速較弱或擋板較高時，產生弱風尾流區。



(七) 我們於氣流場內放置台灣模型於不同位置(北、中、南),發現風場受台灣地形影響於背風側產生弱風尾流區,迎風側出現較大風速,且颱風從北部、中部通過時常發生南落,這與實際颱風風場分析結果接近。我們也認為,台灣模型比例為1cm:500m時影響較顯著,但應考量颱風過山減弱程度調節風力,才能較符合實際的情況。

## 捌、參考文獻

1. 中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw>
2. 颱風預報輔助系統 [http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/typhoon\\_eye/about\\_NEed.htm](http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/typhoon_eye/about_NEed.htm)
3. 颱風百問-中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/typhoon.pdf>
4. 日本氣象廳 <http://www.jma.go.jp>
5. 聯合颱風警報中心 Joint Typhoon Warning Center <http://www.usno.navy.mil/JTWC/>
6. 侵台颱風資料庫 <http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/tyfnweb/tek-report.htm>
7. 風場預報顯示圖 <https://www.cwb.gov.tw/cwbwifi/>
8. 郭宜玟、江怡臻、吳昱輝(2015)。凌「雲」馭「風」—以霧化水分子氣流場模型,模擬颱風在不同環境下的風場與路徑變化。第55屆中小學科學展覽會。國中組地球科學科。
9. 江孟恆(2015)。環境風切引發之颱風對流不對稱研究-衛星資料分析及數值模式模擬。中國文化大學理學院地學研究所大氣科學組碩士論文。
10. 朱錦洲、王時鼎、郭光輝(1992)。颱風過山之水工模擬。天氣分析與預報研討會彙編:P.463~474。
11. 謝信良、王時鼎、鄭明典、葉天降(1998)。侵台颱風「流型」與颱風路徑走向間之關係研究。天氣分析與預報研討會論文彙編。268-275。
12. 謝信良、王時鼎、鄭明典、葉天降、丘台光(1999)建立台灣地區颱風預報輔助系統之研究\_第三階段\_侵台颱風降雨預報之應用研究(一)。99~148頁。
13. 蘇傳翔、賴重佑(2012)。利用駛流場預測颱風路徑。2012年小論文。高中組地球科學類。
14. 艾寧靜(2012)。颱風與季風共伴之環境場研究。中華防災學刊6(2)p.247-253。
15. Shea, J.、Gray, M.(1973) The Hurricane's Inner Core Region.I.Symmetric and Asymmetric Structure. Journal of the atmospheric science. 30: 1544~1564.

## 【評語】 051907

1. 此科展專題呈現颱風與大氣環流、地形作用產生不對稱性，作者探討颱風不對稱與降雨的關係。本專題包含資料分析以及實作模擬，所設計的實作模擬具創意，成果豐碩。
2. 作者分析多年氣象局颱風資料，分析各種侵台路線之颱風不對稱性與風場變化，並探討與大氣環流之關係，也探討地形對於颱風不對稱之影響。
3. 本專題設計一具備十足創意的實驗設備，利用蛋糕盒、吸塵器、入風口，設計一虛擬颱風，並在實驗裝置擺設台灣地形，實測風場變化，此一裝置可以得到許多颱風與地形交互作用之實驗，並可與觀測資料比對，具有很棒的效益。

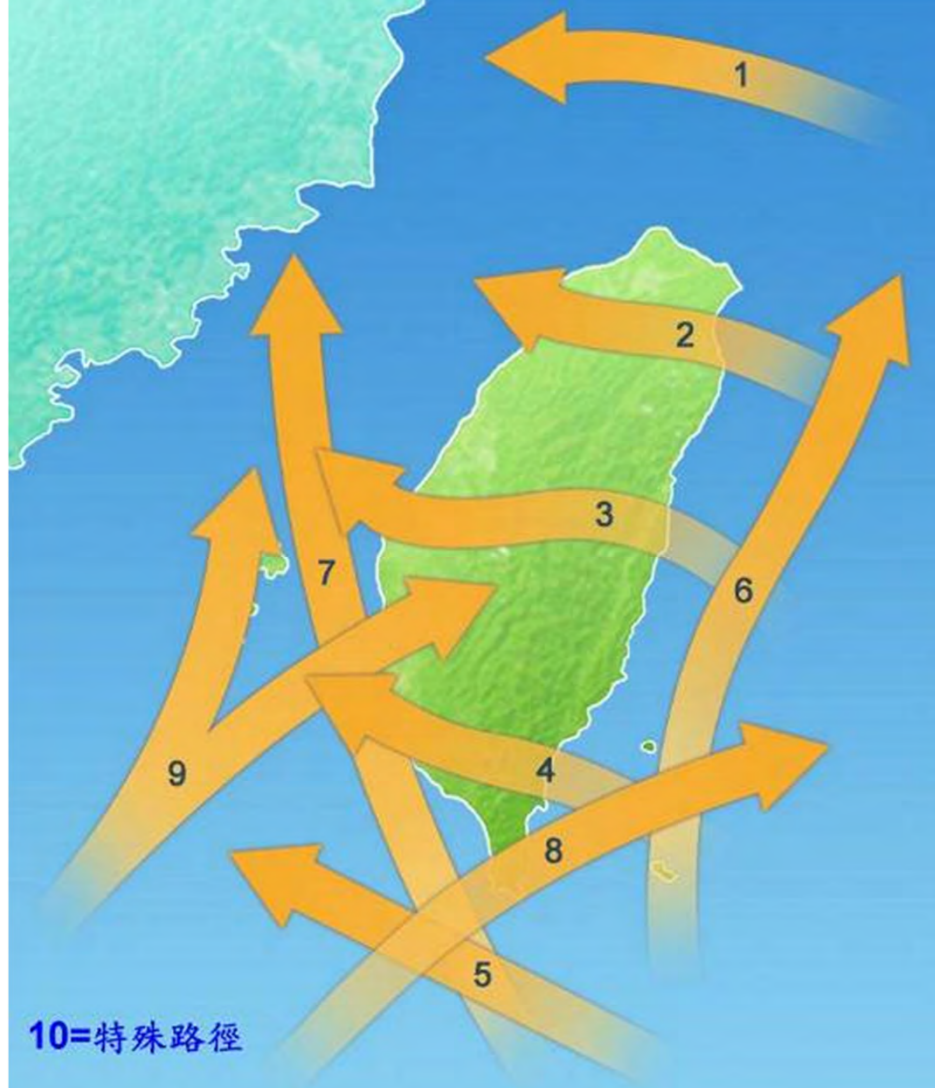
# 壹、研究動機

「颱風」是台灣每年都會經歷的天氣災害，總是造成巨大的財產損害，民眾和政府單位唯有透過精確的氣象預報資訊，才能做出正確判斷、降低傷害。研究指出，颱風的風場未必如颱風預報上所看到的正圓，颱風的風場可能會因為許多外在因素影響其對稱性，如當環境存在垂直風切時，颱風會出現對流不對稱（江孟恆等，2015），而駛流場（蘇傳翔等，2012）、行進路線等，亦會影響颱風結構，季風的共伴及地形效應等，也會造成風場變化，常在台灣發生極端降雨（艾寧靜，2012），**這使我們想針對颱風風場的對稱性進行探究**。參考世界各國颱風預報圖，發現各國多半已將風場不對稱列入考量（JMA、JTWC等網站）。我們希望以台灣的地面測站實際風速資料，實際分析颱風的風場，亦嘗試分析各種不同路徑的颱風在登陸前、後或過山後等不同階段的風場變化情形，期望對於預報模式提出想法，且**希望在實驗室中進行模擬**。

# 貳、研究目的

- 一、分析西行颱風之實測半徑
- 二、分析北行颱風之實測半徑
- 三、分析颱風過山前後的風場變化
- 四、風場對稱性實驗模擬

# 參、研究設備與方法



\*選取颱風標準為氣壓、強度變化小，且路徑較符合分類標準

本研究分析之颱風路徑及發生年份
1 傑夫(1985)、尼爾森(1985)、亞伯(1990)、辛樂克(2002)、艾利(2004)、蘭寧(2004)、馬莎(2005)、卡努(2005)、桑美(2006)、潭美(2013)、菲特(2013)
2 黛拉(1978)、諾瑞斯(1980)、美瑞達(1984)、愛麗(1991)、賈伯(1996)、柯羅莎(2007)、蘇力(2013)、杜鵑(2015)、尼莎(2017)
3 艾貝(1986)、黛特(1990)、寶莉(1992)、提姆(1994)、奧托(1998)、碧利斯(2000)、海棠(2005)、梧提(2007)、莫拉克(2009)、蘇迪勒(2015)
4 珀西(1980)、安迪(1982)、黛特(1982)、帕布(2007)、凡那比(2010)、南瑪都(2011)、尼伯特(2016)
5 露西(1971)、艾爾西(1975)、賀璞(1979)、傑魯得(1987)、琳恩(1987)、艾美(1991)、肯特(1995)、杜鵑(2003)
6 裘恩(1981)、西仕(1982)、亞力士(1984)、郝麗(1984)、席斯(1994)、道格(1994)、瑞伯(1998)、楊妮(1998)、巴比倫(2000)、秦神(2000)、啟德(2000)、海馬(2004)、敏督利(2004)、納坦(2004)、艾維尼(2006)、康芮(2013)
7 娜拉(1973)、葛樂禮(1996)、奇比(2001)、莫蘭蒂(2016)、海棠(2017)
8 賴恩(1995)、凱姆(1996)、米勒(2003)
9 裘迪(1966)、艾爾西(1966)、艾克(1981)、蘇珊(1988)、瑪麗安(1990)、娜吉莉(2002)、南瑪都(2004)、萊羅克(2010)、梅姬(2010)、泰利(2012)

	中央氣象局 (CWB)	日本氣象廳 (JMA)	美軍聯合颱風警報中心 (JTWC)
風場呈現方法	正圓、分七級與十級風	橢圓，有長短軸	四個象限
風速單位	m/s (或km/hr)	m/s (或km/hr)	kts
平均風速採計	10分鐘平均	10分鐘平均	1分鐘平均
說明	風圈為平均風速分為七級風 (13.9m/s) 暴風半徑和十級風 (24.5m/s) 暴風半徑	風圈為「可能」出現該風速的區域，所以畫的風圈也較大。分為15m/s的強風圈和25m/s的暴風圈	風圈為平均風速依顏色區分為30kts (紫色)、50kts (橘色)、64kts (紅色) ※kts為海里小時的單位，1kts=0.514m/s

### 颱風未受地形破壞前，四個象限暴風半徑推估方法

A、1號、2號路徑以彭佳嶼作為參考點，計算風場東西側大小。  
 B、部分2號、3號及4號路徑以蘭嶼及彭佳嶼作為參考點，計算風場南北側大小。  
 C、5號路徑以蘭嶼作為參考點，計算風場東西側大小。  
 D、6號、7號路徑以蘭嶼作為參考點，計算風場南北側大小。  
 E、8號路徑以蘭嶼作為參考點，計算風場南北側大小。  
 F、9號路徑以東吉島作為參考點，計算風場南北側大小。  
 G、利用實際數據分析出的各路徑風場大小。

### 颱風風場分析

(一) 選定合適颱風  
 (二) 選取颱風位於台灣中央前後三小時風速資料  
 (三) 輸入資料繪製等值線圖

### 本研究氣流場實驗裝置

抽風裝置 (2.5/5.0/7.5cm)  
 吸塵器  
 風力調節孔  
 熱線式風速計  
 風速測量位置  
 以雷射切割壓克力板製作台灣模型  
 引流板

<比例說明>  
 颱風直徑約200至600公里不等，但垂直高度僅10至15公里上下，實際颱風可說是一相當扁平的構造。為了方便實驗操作、放置風速計探頭，本研究設計的風場模型為一直徑約42公分，高度約10公分的扁圓柱體，此比例與實際颱風相比拉高了近10倍的比例，風場中的障礙物（如台灣模型）亦拉高其比例

### 颱風流場模擬實驗演變

水霧模擬  
 量化的數據  
 本研究使用熱線式風速計收集數據繪製等值線風場圖

# 肆、研究結果

### 一、分析西行颱風之實測半徑

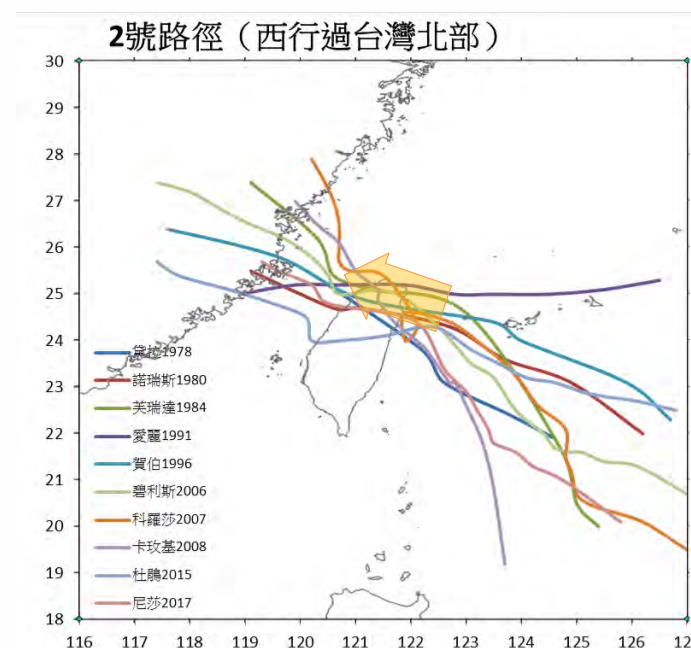
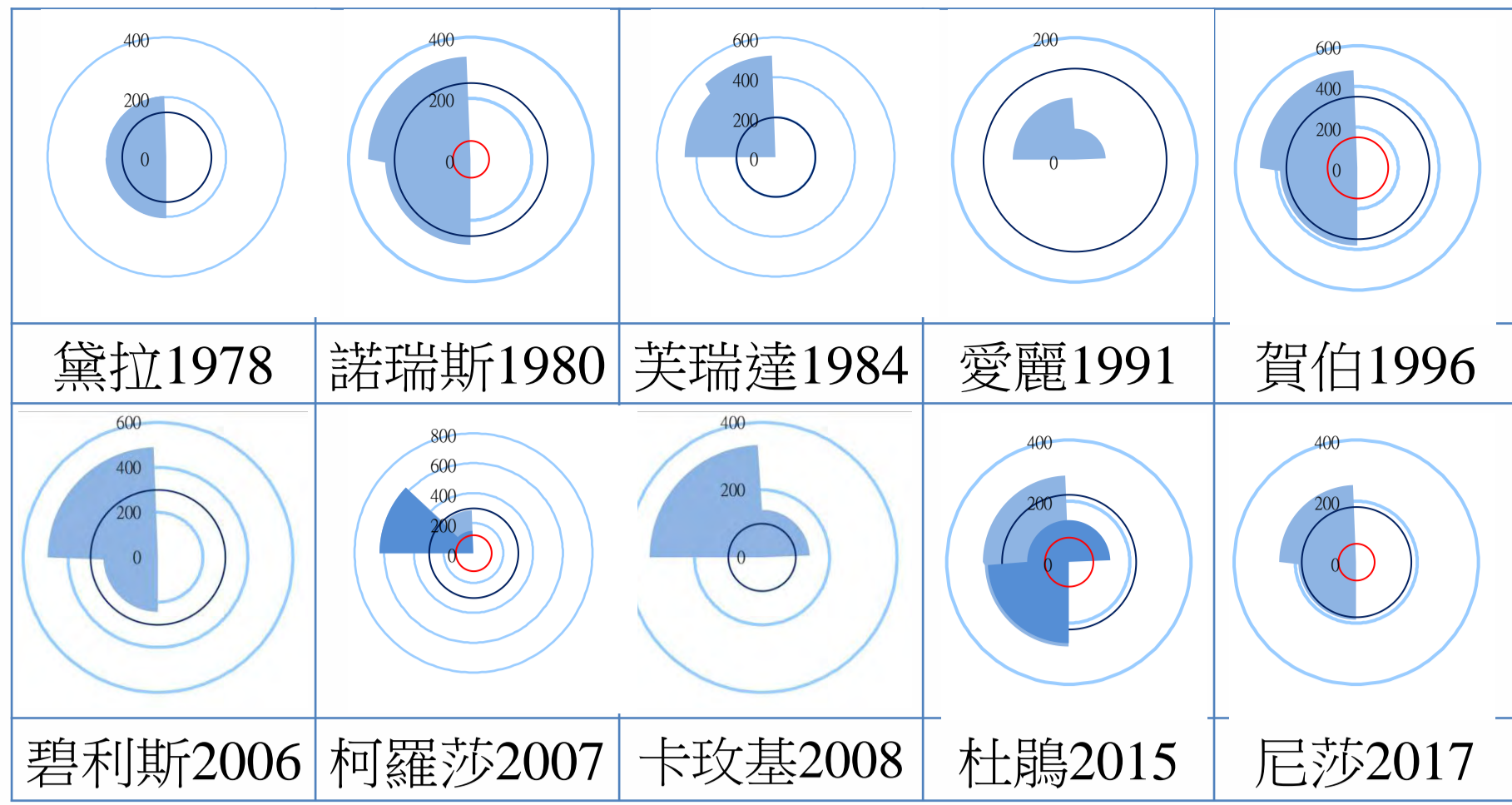
(一) 路徑1 (西行過台灣北部海面)，分析暴風半徑

(二) 路徑5 (西行過台灣南部海面)，分析暴風半徑

在1、5號路徑未受山脈影響的西行颱風中，可看出普遍為西側或西北側風場較大。

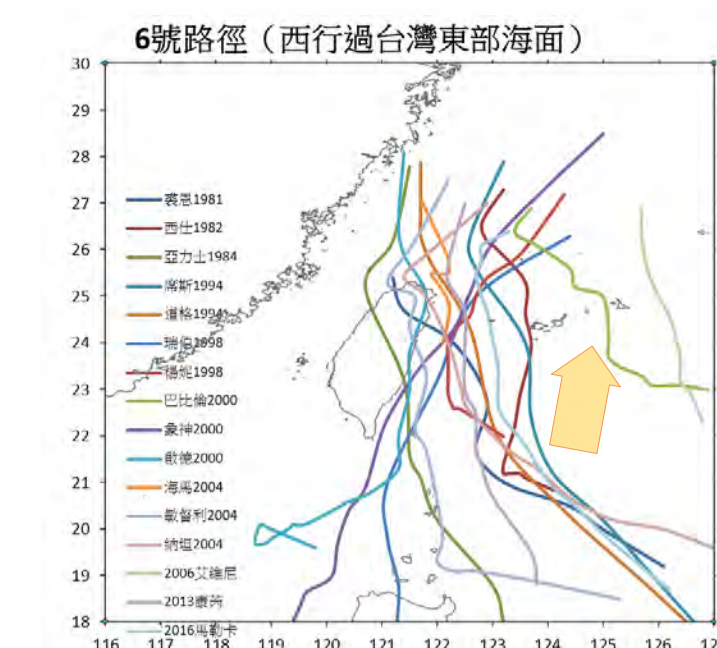
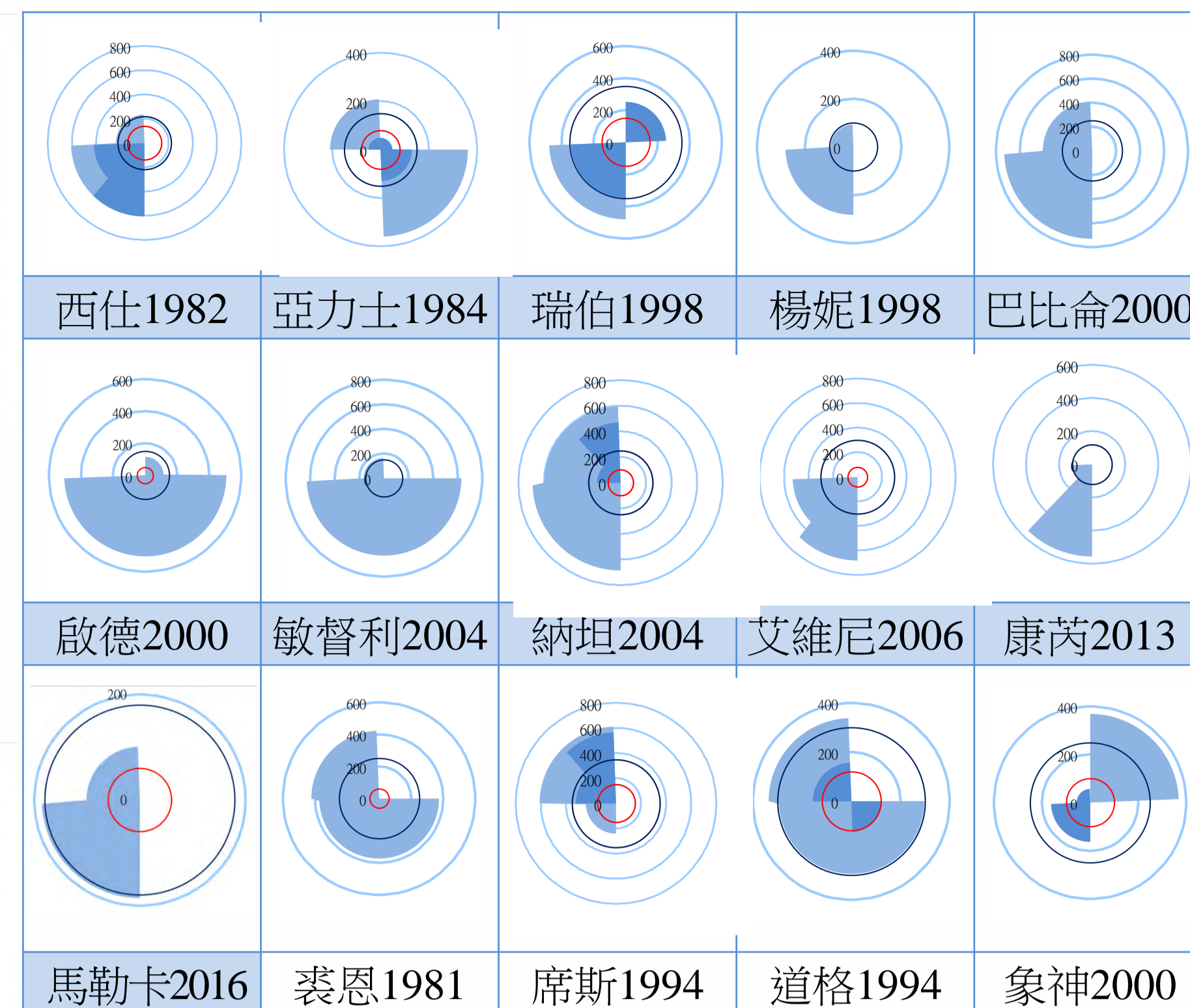
路徑2、3、4穿越台灣本島的颱風，過山前之實測半徑

(一) 路徑2 (過北部台灣前)



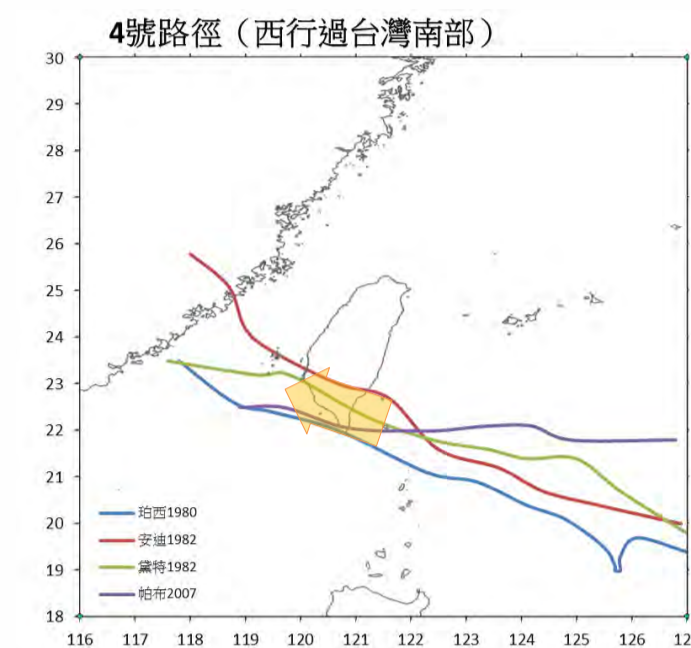
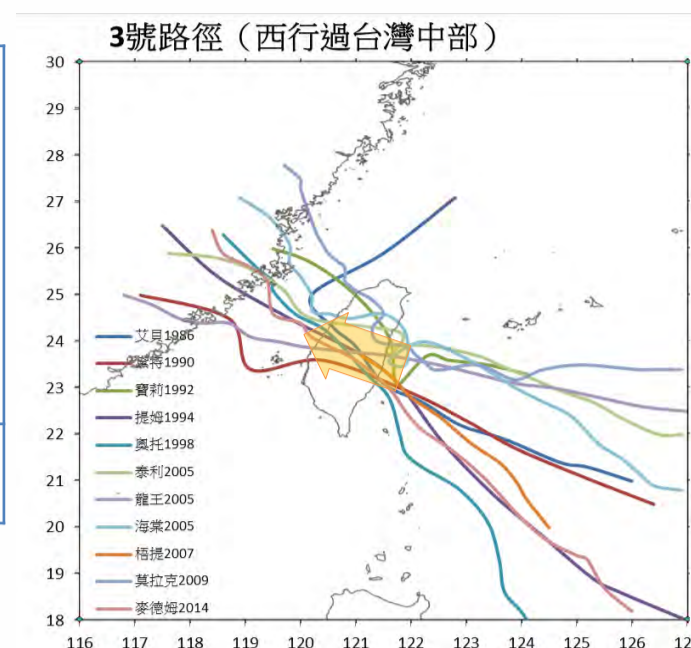
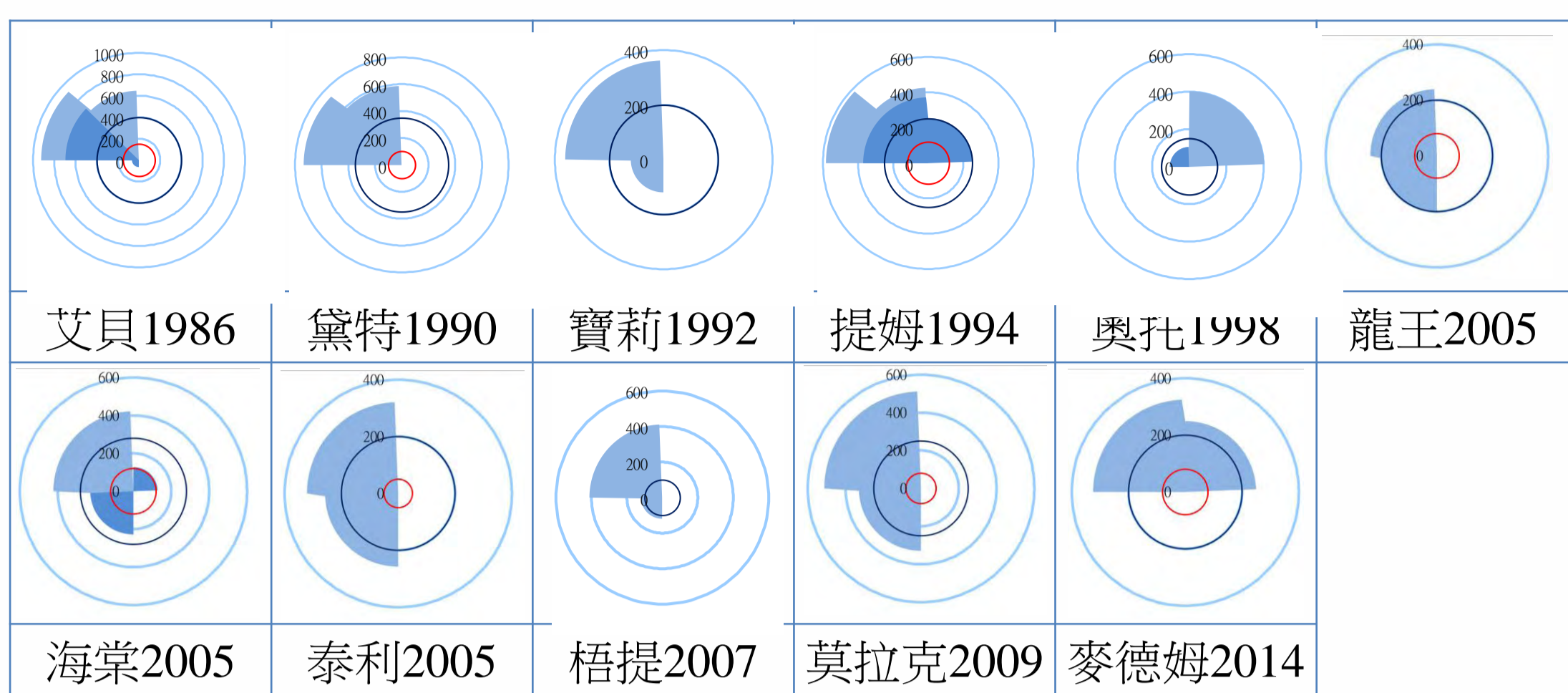
二、分析北行颱風之實測半徑

(一) 路徑6 (自東部海面北上)

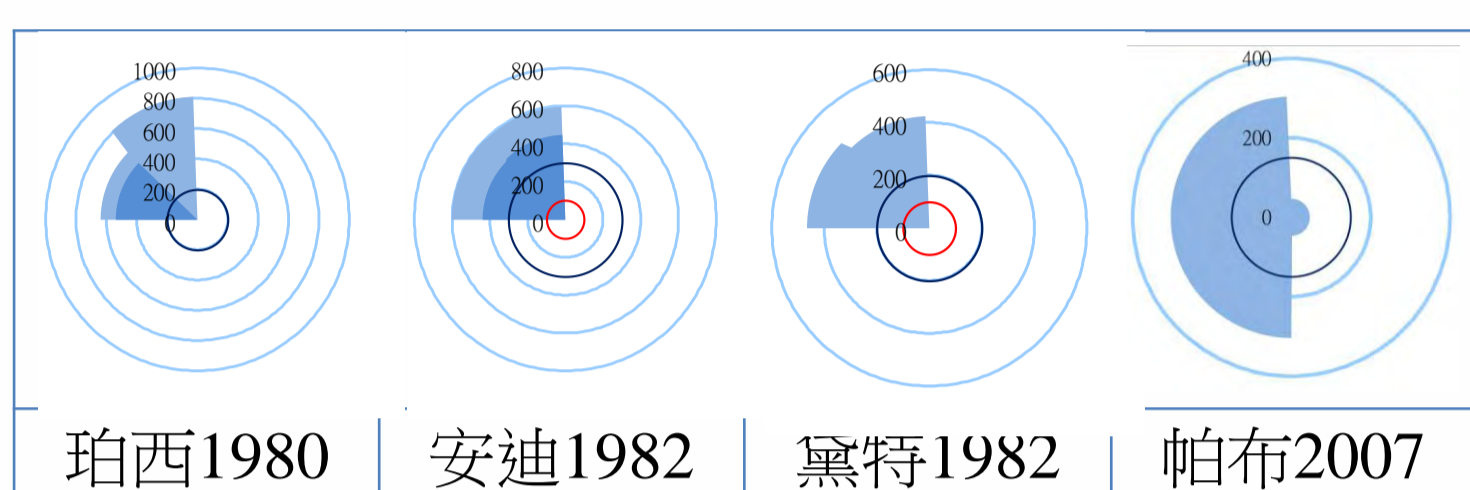


颱風北行過台灣東部海面，常因引進西南風導致大多南側大於北側；部分北行颱風則會因為來臨時為秋、冬季，受到東北季風影響，北側較大，如：象神、海馬等。

(二) 路徑3 (過中部台灣前)

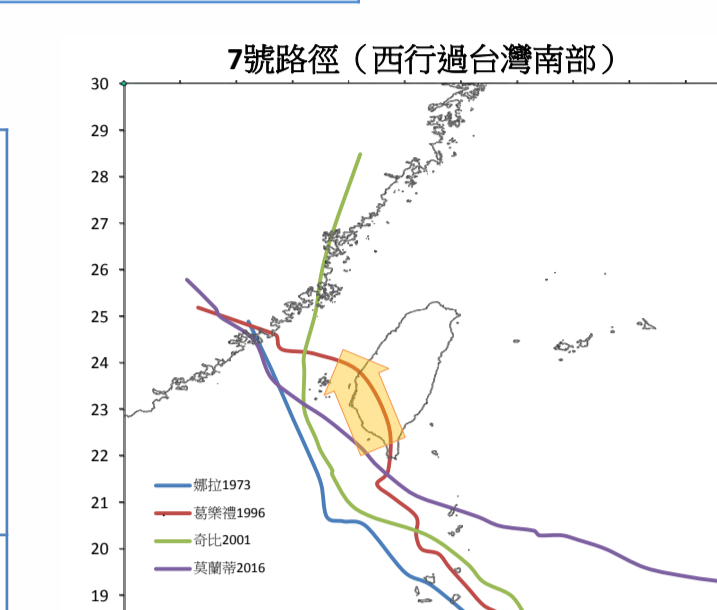
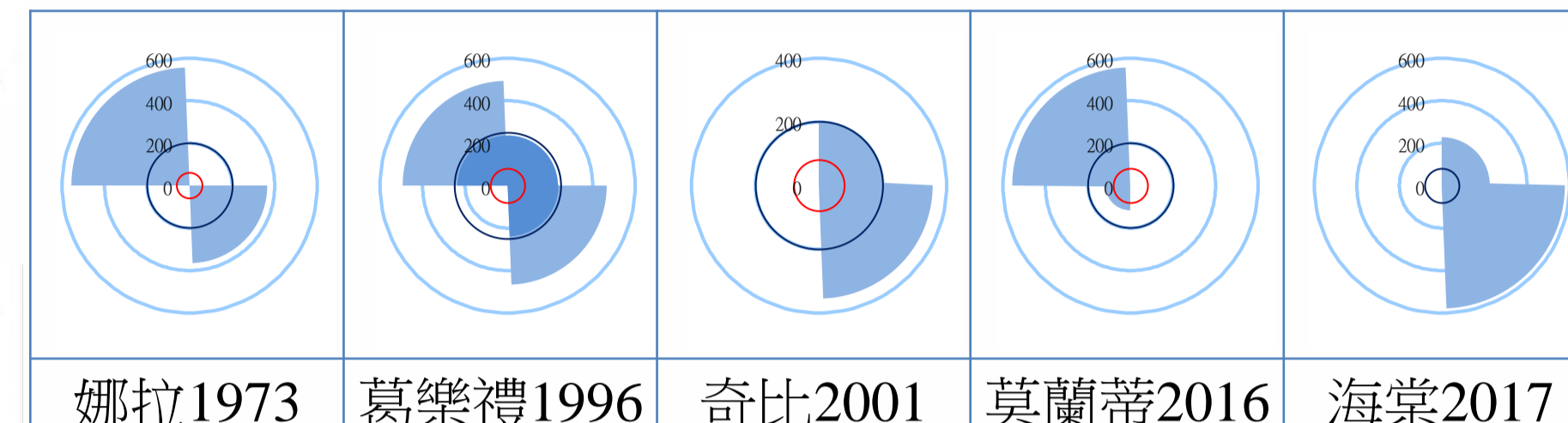


(三) 路徑4 (過南部台灣前)



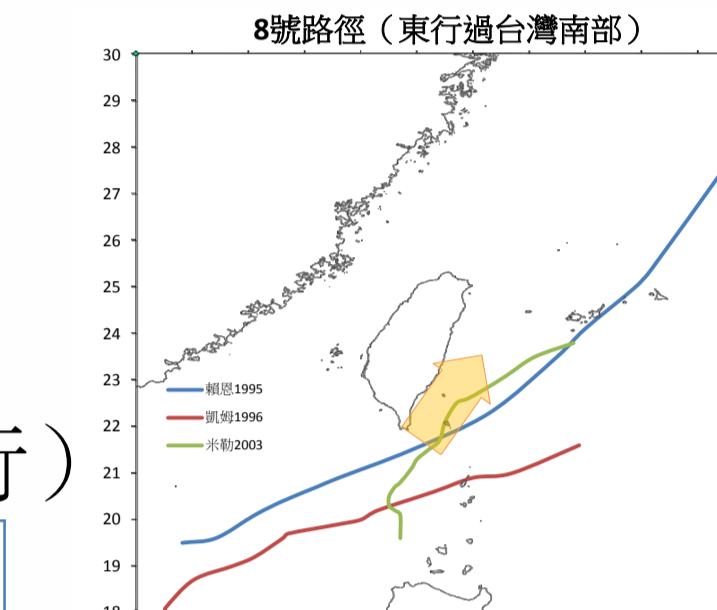
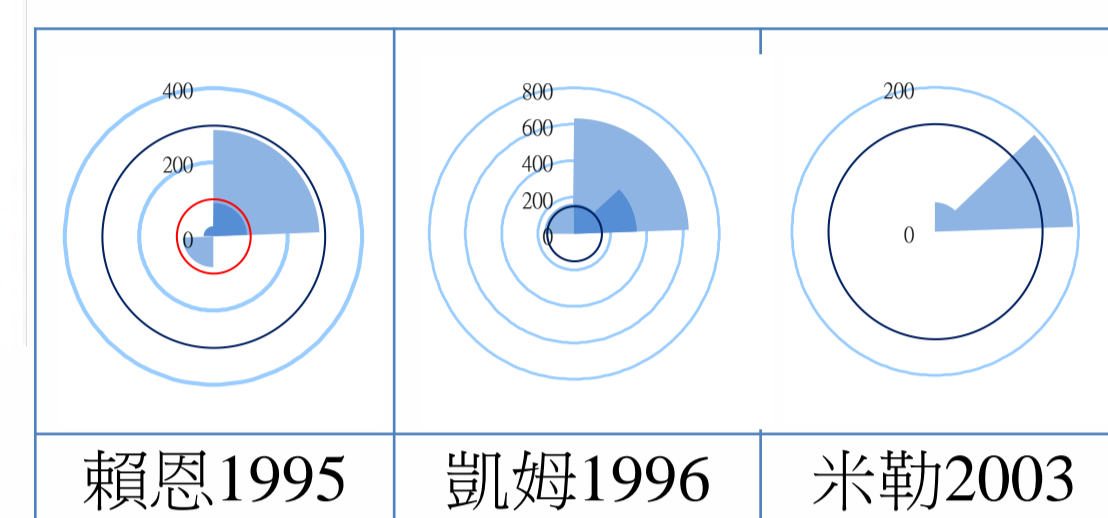
路徑2、3、4號颱風過山前，因受到東北側高壓環流導引，颱風偏向西北行，西側或西北側風場較大（行進方向的右前方）

(二) 路徑7 (自台灣南方北上，沿西部北上)



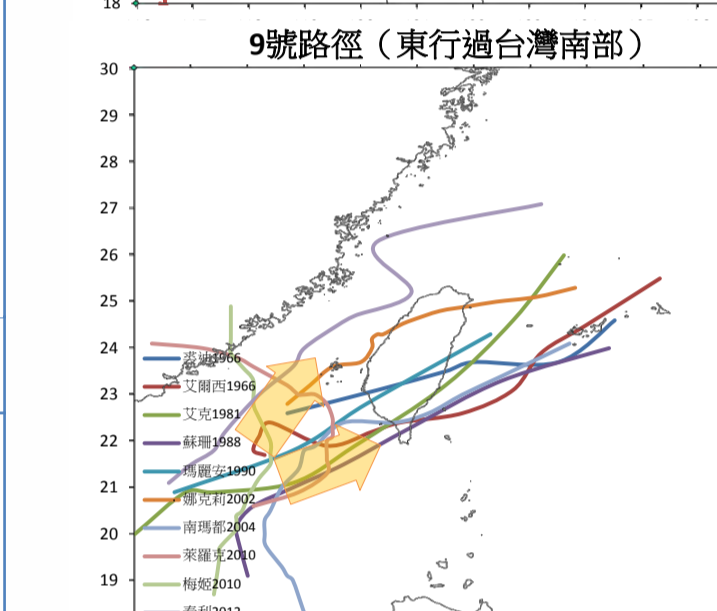
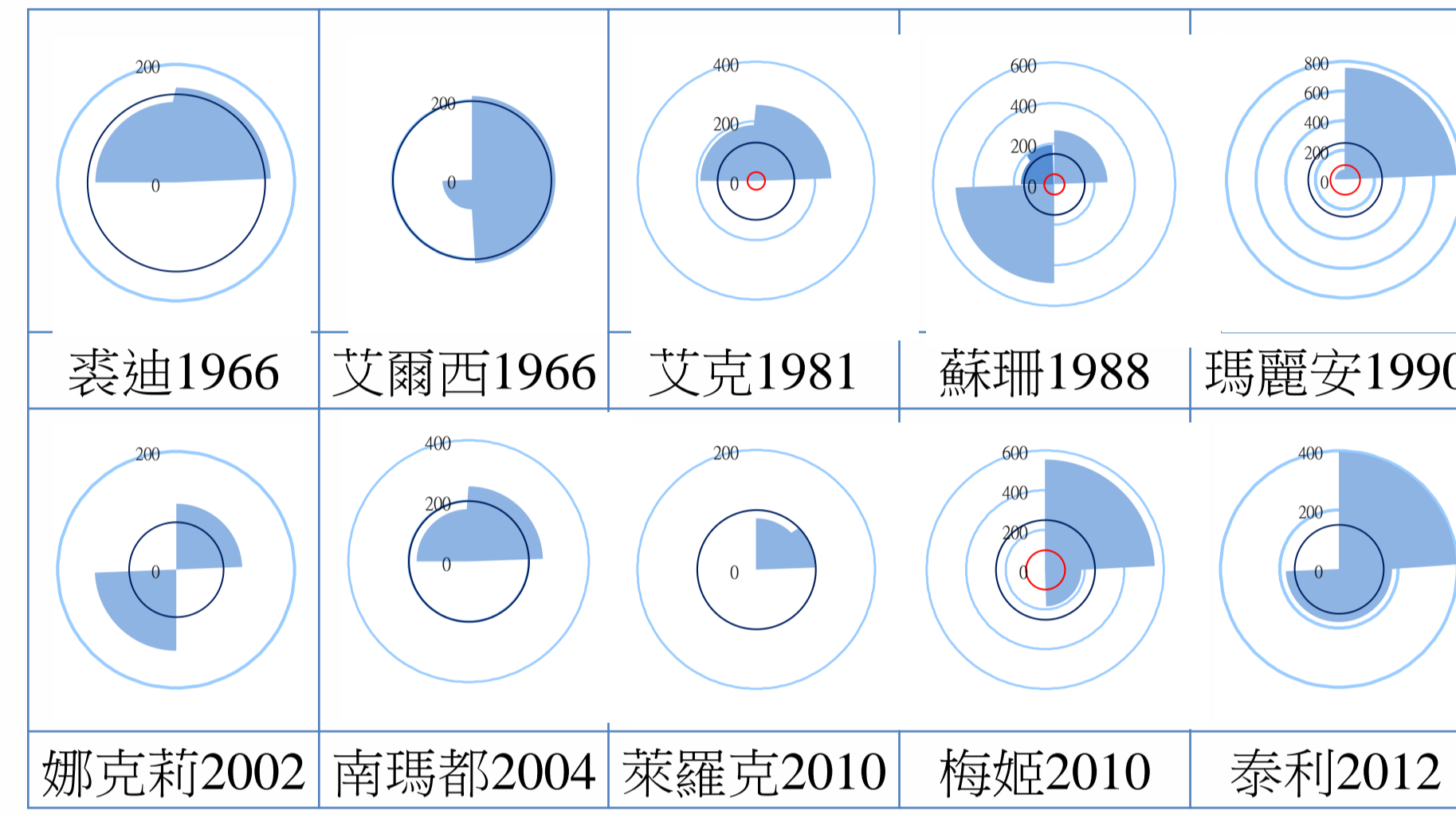
路徑7颱風偏西北行，大多北側大於南側，部分颱風引進西南風，南側風場較大。

(三) 路徑8 (自台灣南方北上，沿東部北上)



8、9號路徑的颱風，大多東北側強。少數例外，如1988蘇珊、2002娜克莉。

(四) 路徑9 (自台灣海峽南方北上，東行或東北行)

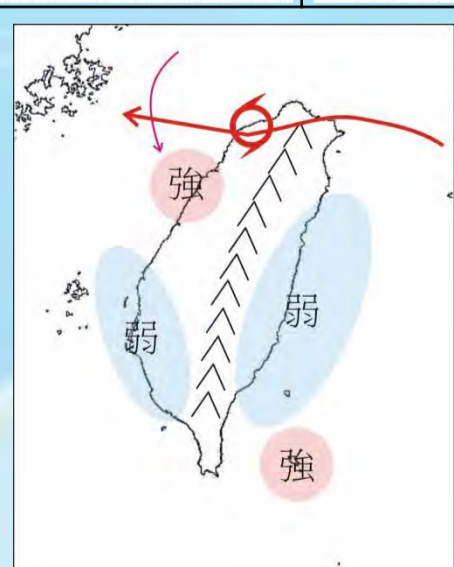
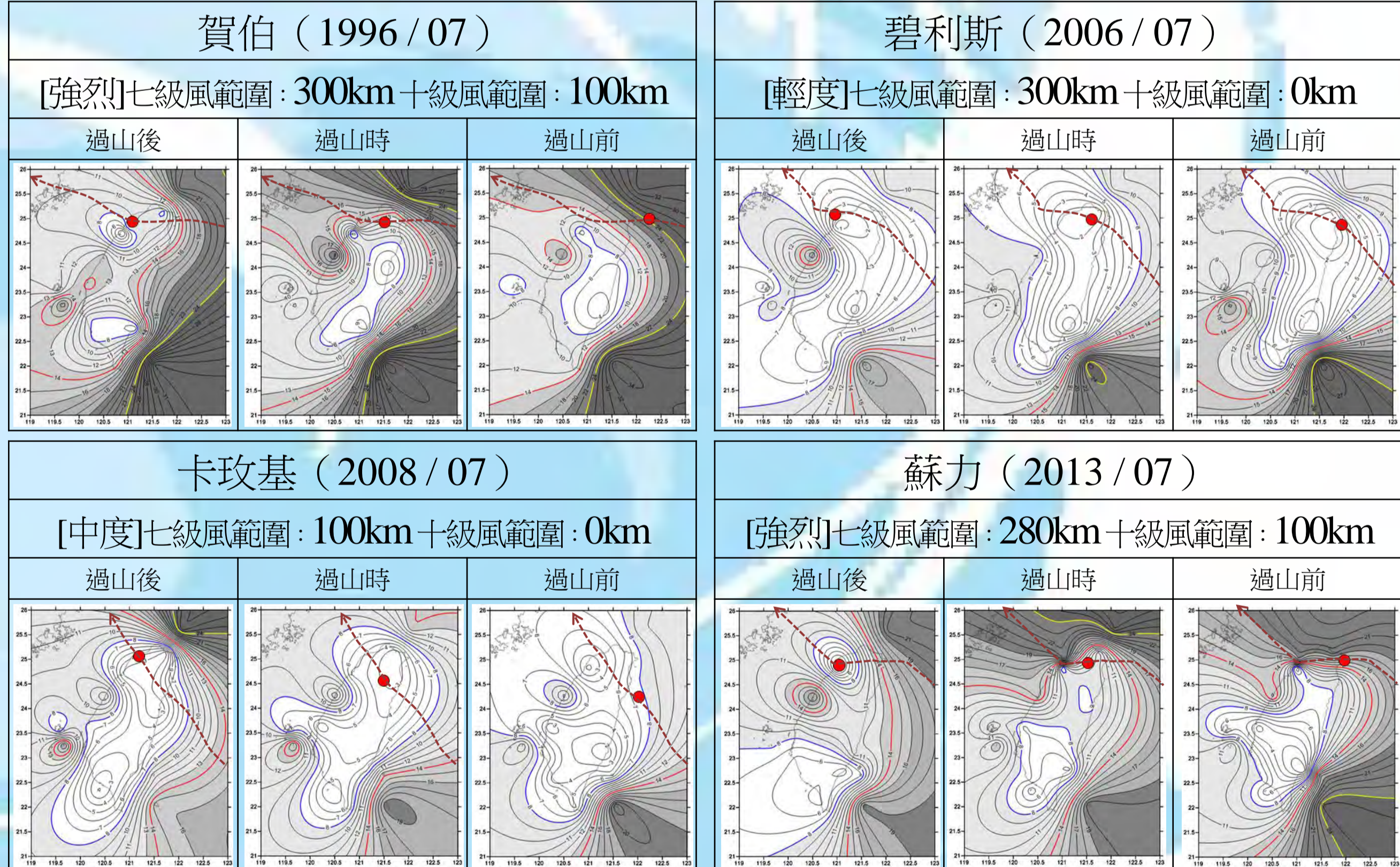


路徑說明		颱風對稱性說明	
西行不過台灣	1號路徑 (北部海面)	西行通過北部海面及南部海面的颱風常受到東北信風及高壓環流導引 (沿著高壓南邊氣流方向行進)，西側或西北側風場較大 (行進方向的右前方)，此結果與Shea & Gray (1973) 的發現接近。	<p>在北半球行進中的颱風其右前方象限的風最大，因為颱風該象限環流風向與導引氣流 (駛流場) 風向相同 (Shea &amp; Gray, 1973)</p>
	5號路徑 (南部海面)		
西行穿過台灣登陸前	2號路徑 (過北台灣)	西行通過台灣的颱風，在過山前，因受到東、北側高壓環流導引，以致於颱風偏向西北西行，西側或西北側風場較大 (行進方向的右前方)。	
	3號路徑 (過中台灣)		
	4號路徑 (過南台灣)		
西行颱風普遍是西側>東側，北側>南側			

路徑說明		颱風對稱性說明	
北行	6號路徑 (自東部海面北上)	此路徑颱風常因夏季西南氣流引進，導致南側風場較大，而部分颱風因秋、冬季東北季風影響，北側較大。	
北行 (從台灣南部北上)	7號路徑 (自台灣西部北上)	這些路徑的颱風，由於大氣環境特殊，常因季風共伴、西南氣流、併入鋒面等因素影響路徑及風場。但一般7號路徑是北側較大，8、9號路徑是東北側較大。	
	8號路徑 (自台灣東部北上)		
	9號路徑 (向東或東北行)		
造成颱風北行的大氣環境特殊，颱風風場需考慮季風、鋒面等許多因素			

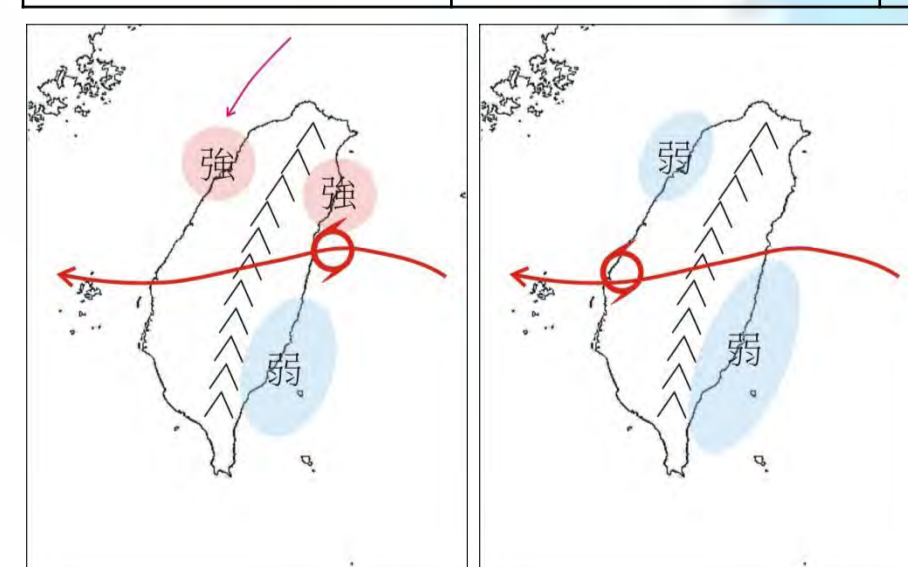
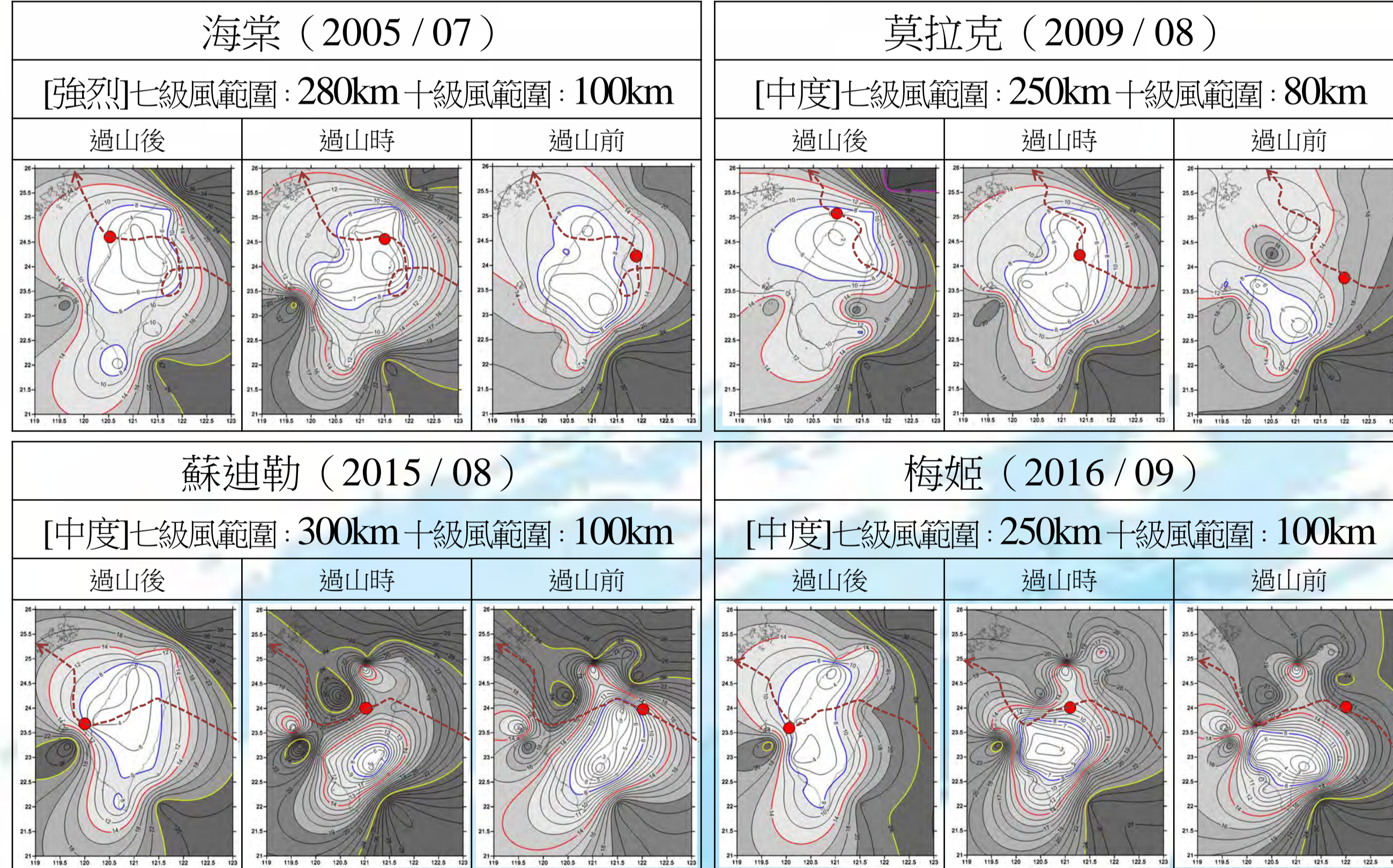
三、分析過山颱風的風場變化

(一) 路徑2 (西行過北部台灣)



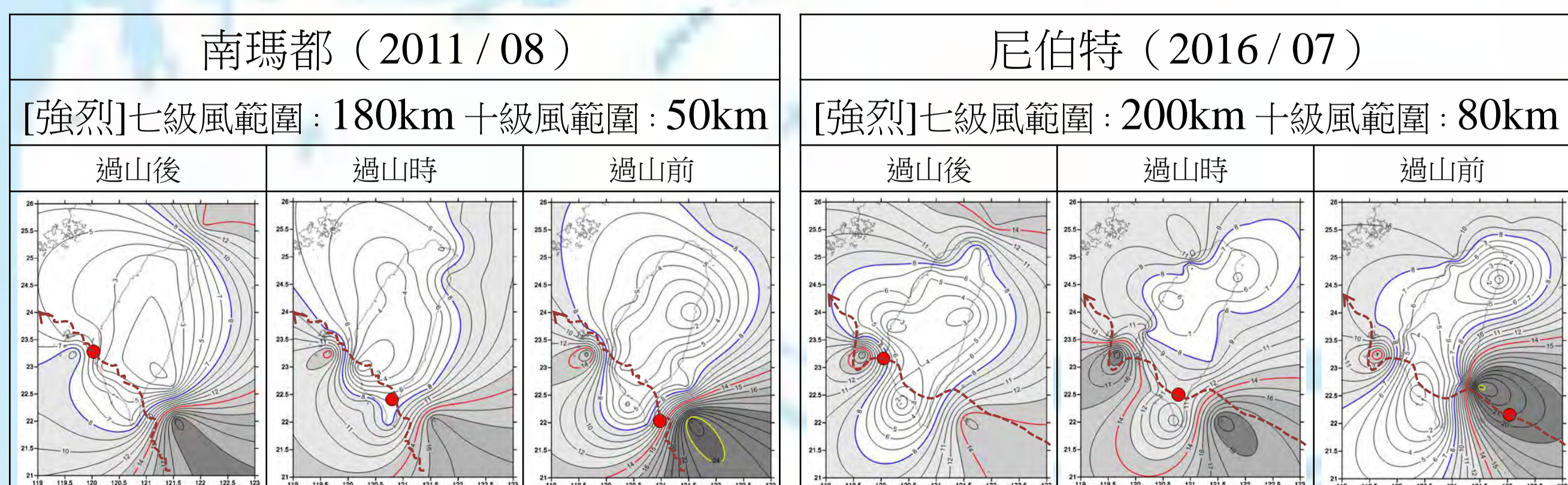
過山前，氣流繞過台灣北部導致中部一帶風速較大。過山後，台灣東部因位於氣流背風側，形成弱風尾流區。

(二) 路徑3 (西行過中部台灣)



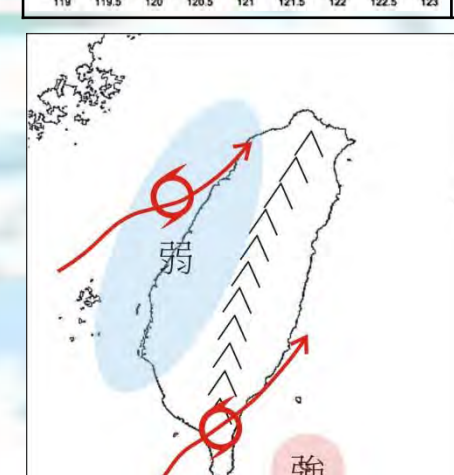
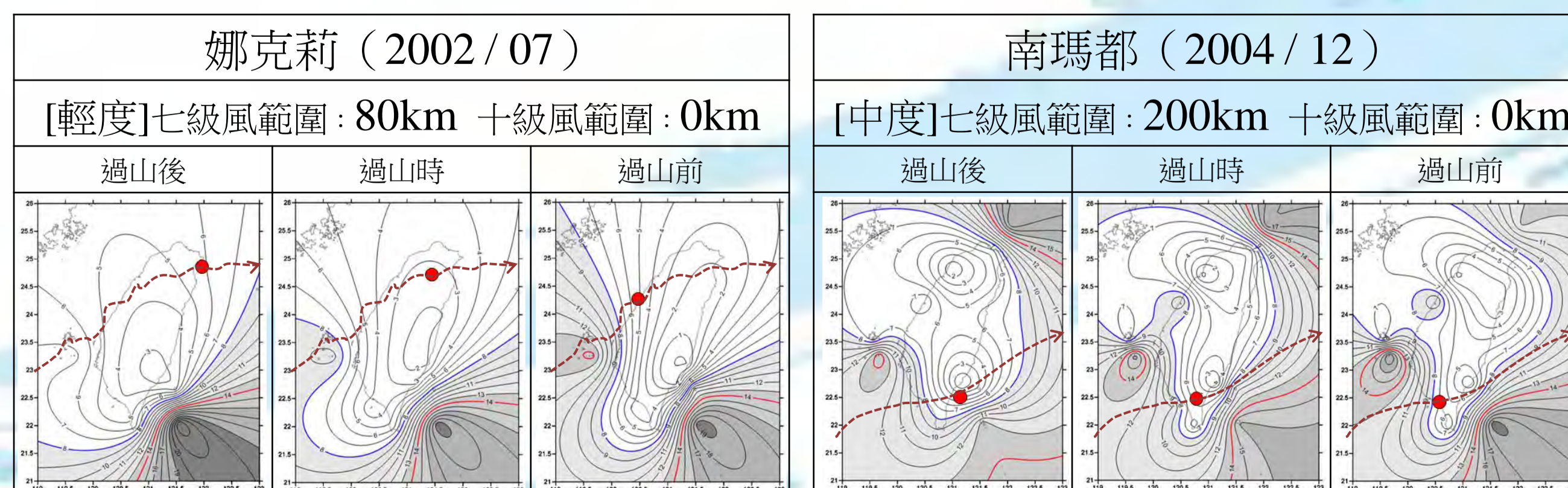
過山前，部分氣流常因受到山脈阻擋，導致台灣北部風速較大。過山後，由於颱風本體受地形破壞，中心風速微弱。

(三) 路徑4 (西行過南台灣)



由於逆時針旋轉的氣流被山脈阻擋，導致西半部成為背風側，風速微弱。

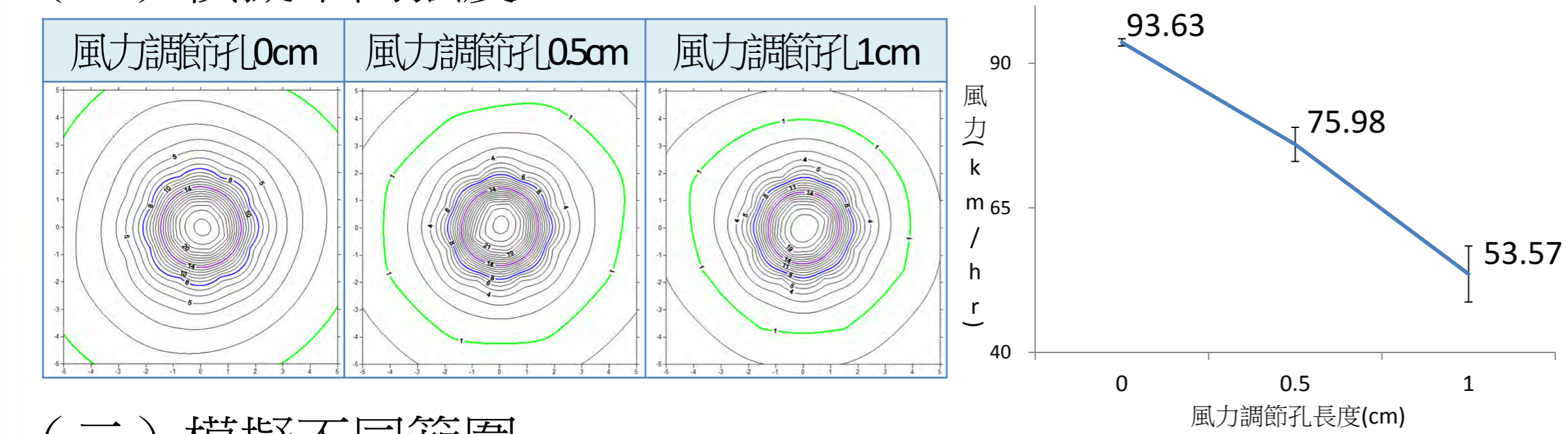
(四) 路徑9 (東行或東北行過台灣)



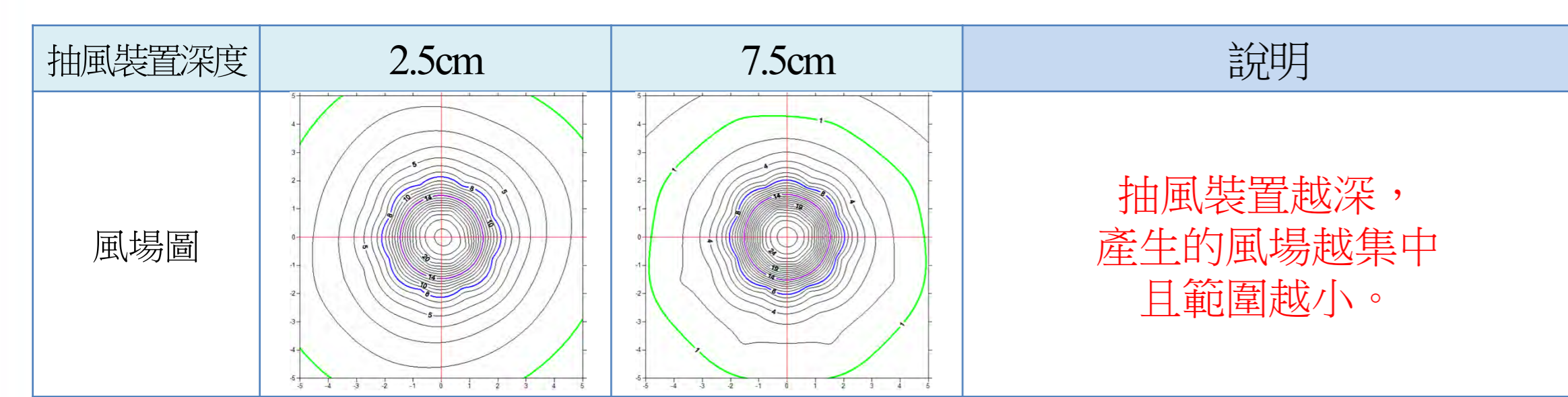
逆時針旋轉氣流受山脈阻擋，導致台灣西半部位於背風側，風速微弱；中心普遍風速小。

## 四、風場實驗模擬

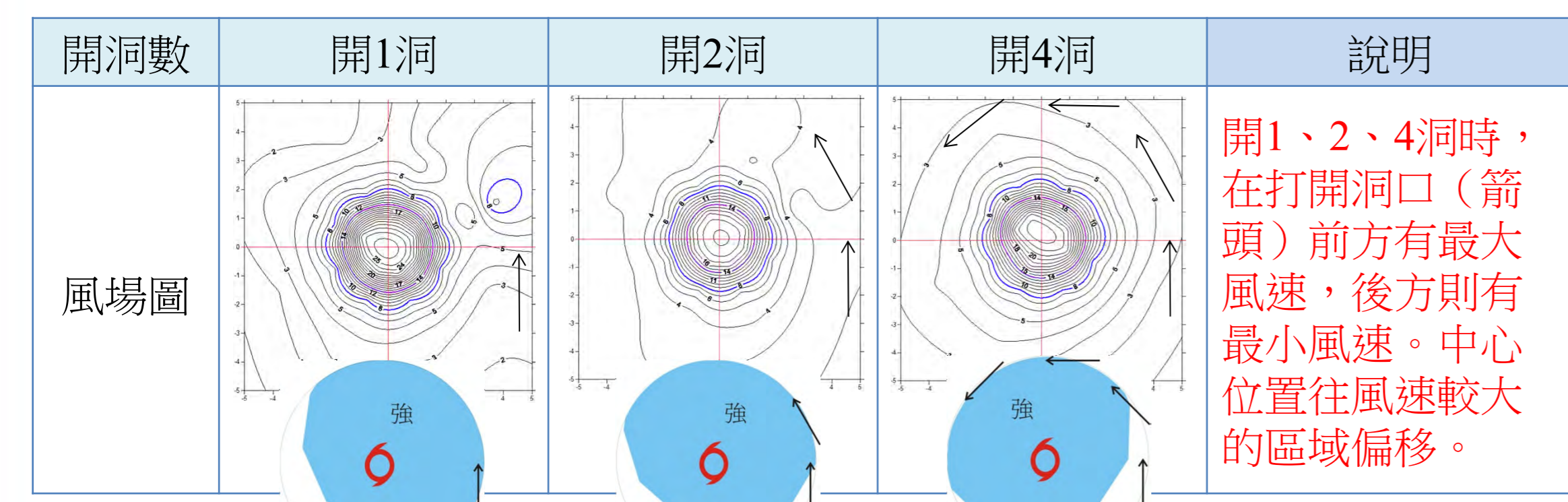
### (一) 模擬不同強度



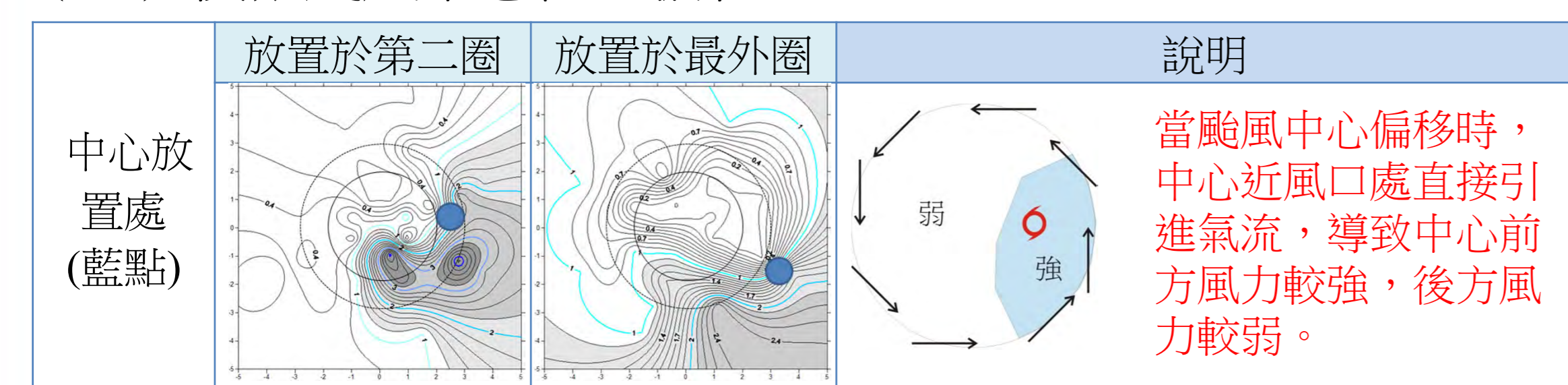
### (二) 模擬不同範圍



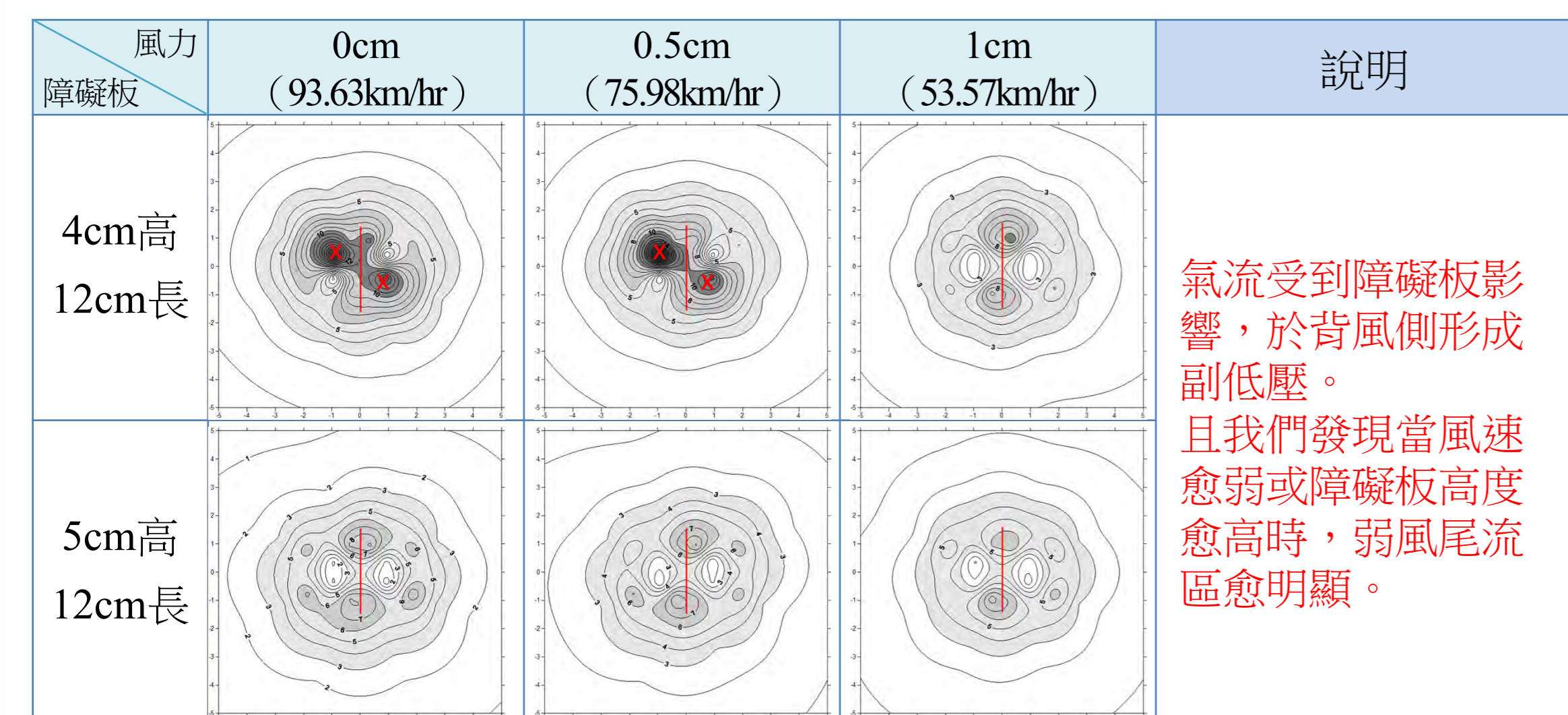
### (三) 模擬不同對稱性



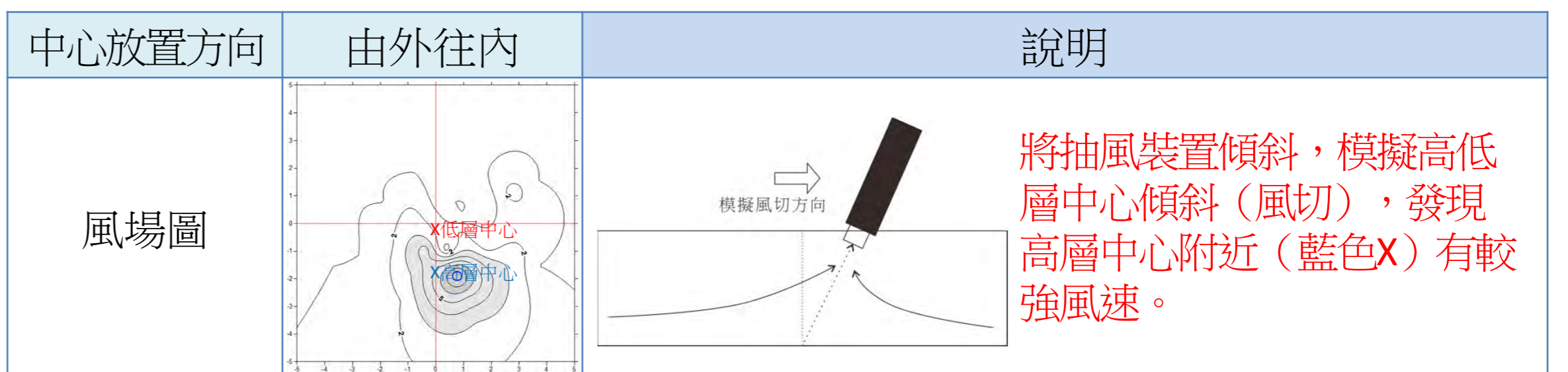
### (四) 模擬颱風中心位置偏移



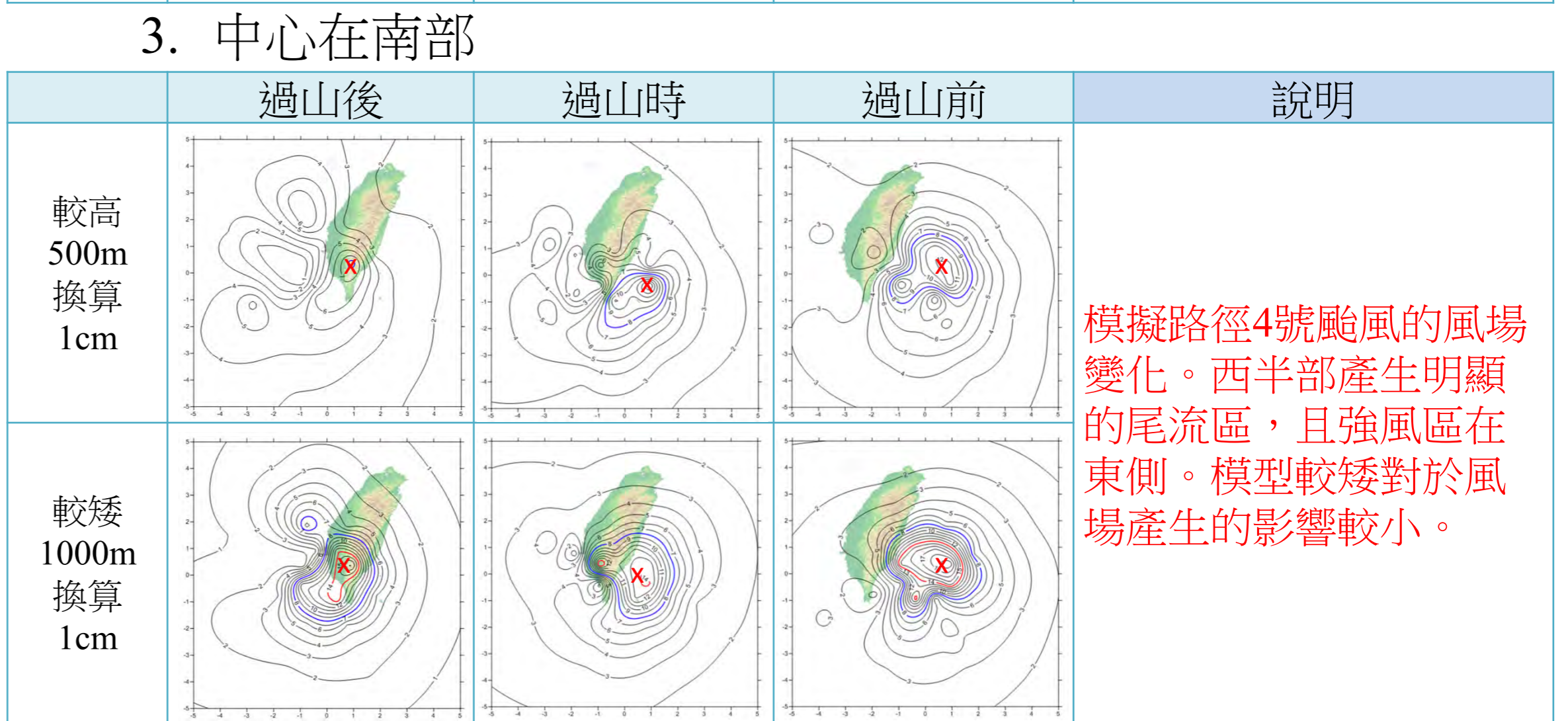
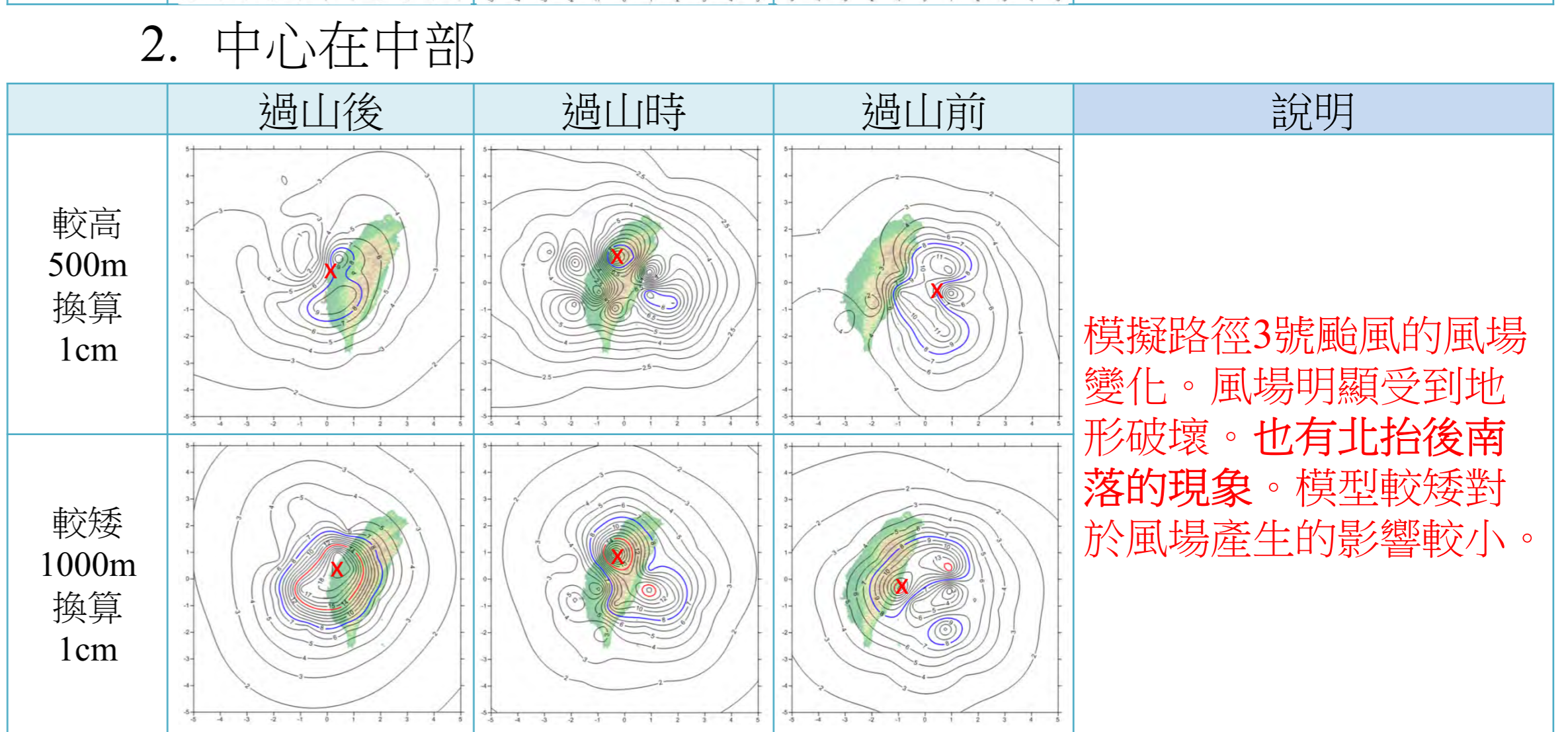
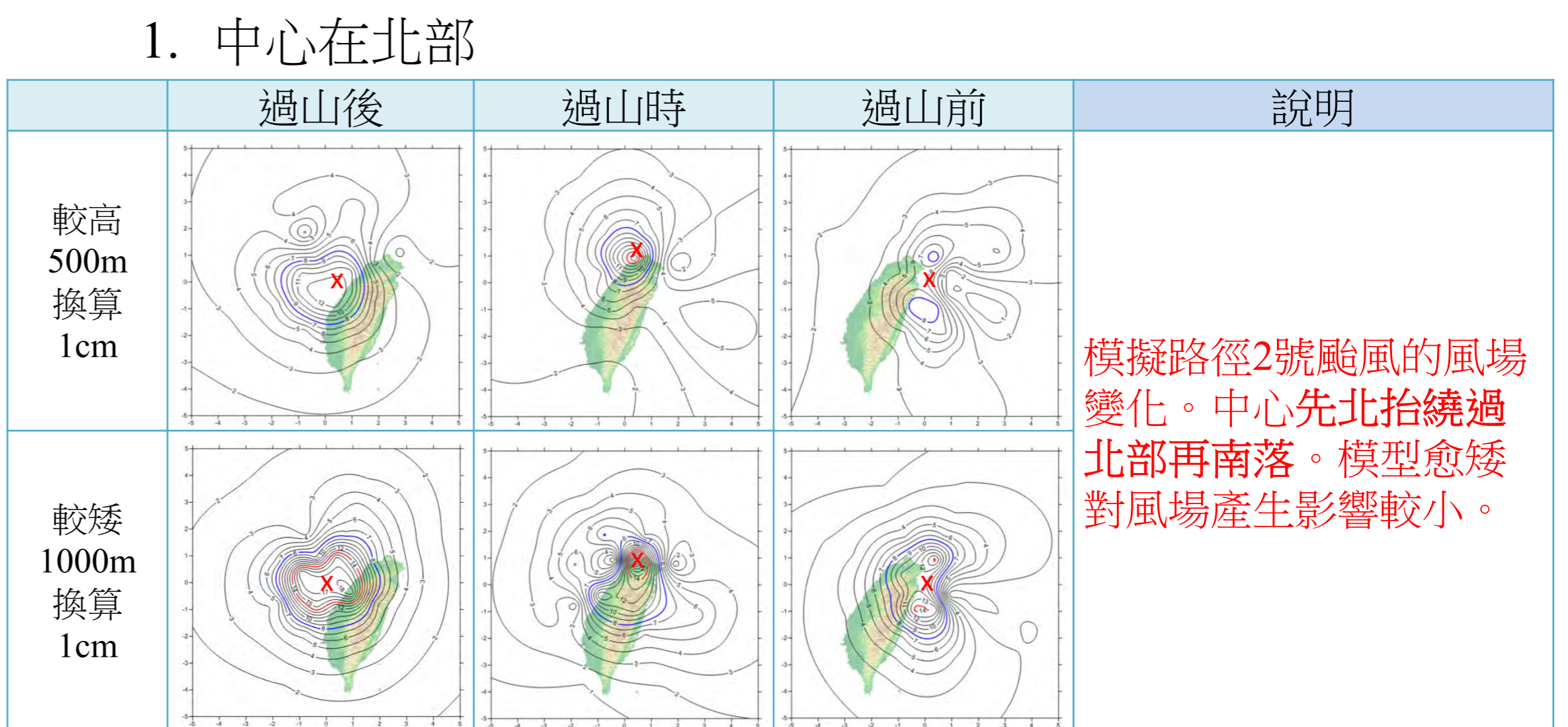
### (五) 模擬障礙物高度造成的影響



### (六) 模擬風切造成的影響



### (七) 模擬不同比例台灣模型造成的影響



於氣流場內將台灣模型放置於不同位置（北、中、南），發現風場受台灣地形影響於背風側產生弱風尾流區，迎風側出現較大風速，此結果與實際颱風風場分析結果相當接近。且我們發現，台灣模型縮放比例為1cm：500m時較符合實際的情況。

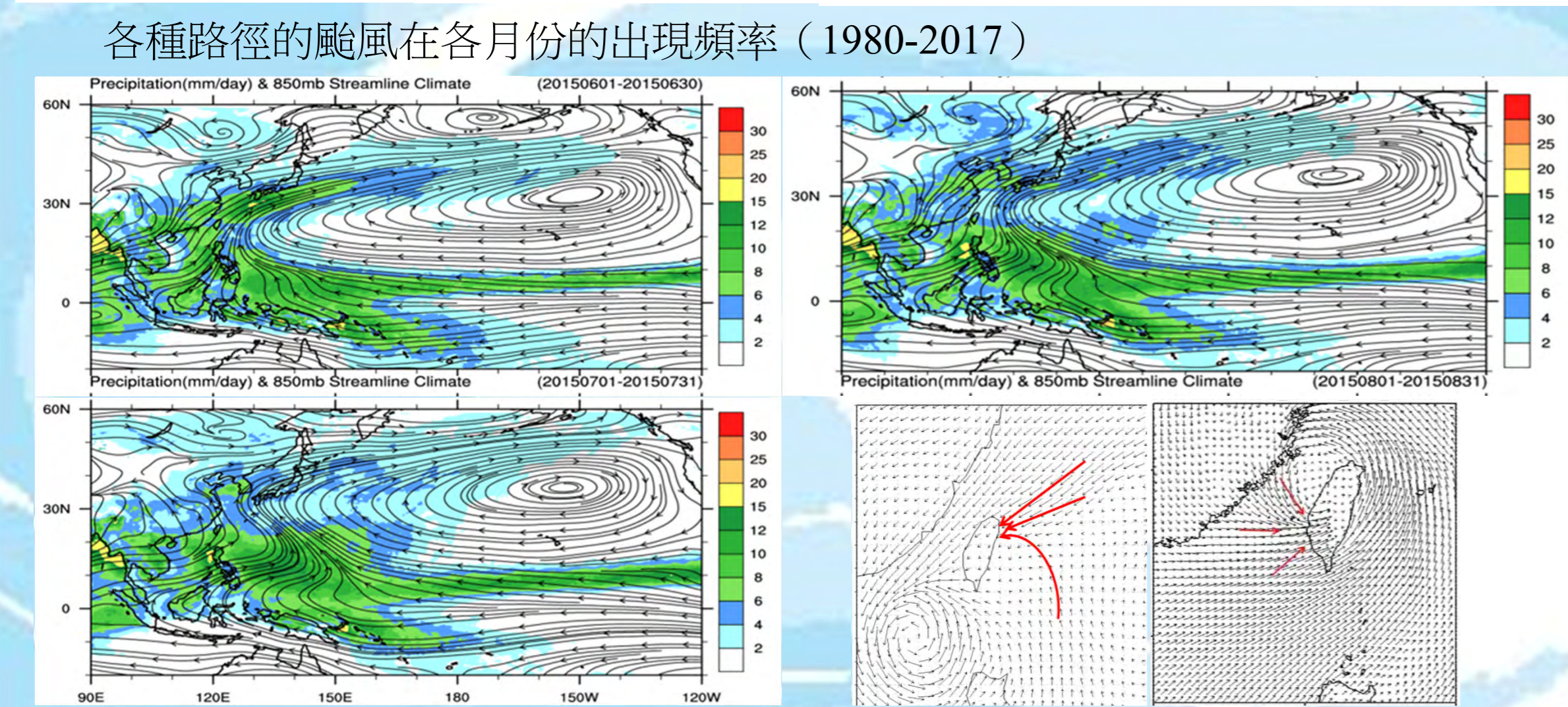
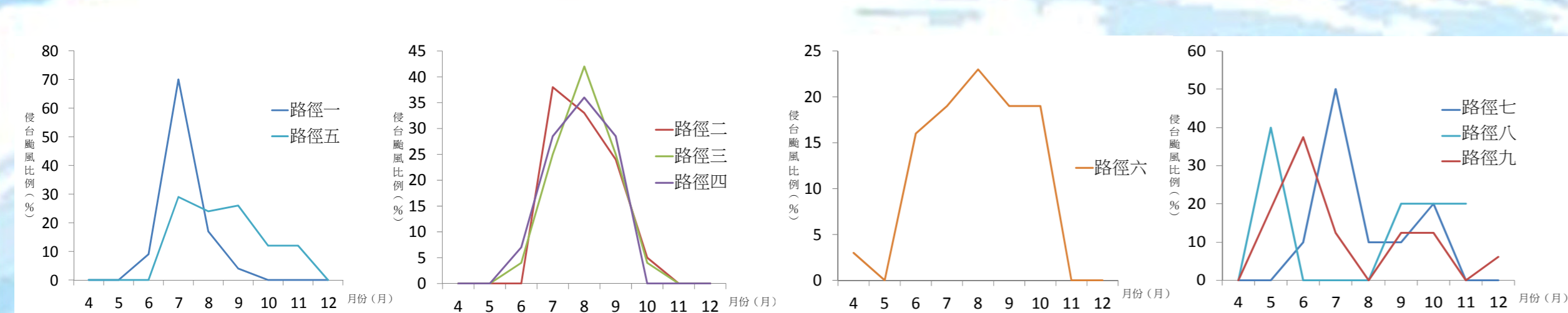
## 伍、討論與結論

### 一、各國颱風預報方式的比較

機構名稱	風場呈現方式	備註
中央氣象局 (CWB)	正圓形，颱風中心在圓心	使用10分鐘平均風速，半徑為平均風速的範圍
日本氣象廳 (JMA)	橢圓形，有長短軸之分	半徑為「有可能」達到某種風速的可能範圍，因此範圍會大一些
聯合颱風警報中心 (JTWC)	分成四個象限，每個象限都給予不同半徑	使用1分鐘平均風速，因此預報風速會大一些

### 二、未過山前實際與預報差距

- (一) 西行颱風：
- ✓ 1號路徑（西行過北台灣海面）上，大多為西側寬度 > 東側，可能是北部高壓及東北信風所影響，寬度上西側約是東側的170%，氣象局預報資料有低估的趨勢。
  - ✓ 5號路徑（西行過南台灣海面）上，皆西側寬度 > 東側，可能是北部高壓所影響，寬度上西側大約是東側的280%，而氣象局的颱風警報單所標示的暴風半徑範圍大約是東側的190%。
  - ✓ 2、3、4號路徑（西行未過山）通常北側寬度 > 南側，應是受高壓分布所影響，寬度上北側大約是南側的230%。
- (二) 北行颱風：
- ✓ 6號路徑（北行過東台灣海面），通常南側寬度 > 北側，可能與高壓位置偏東南及颱風南側引進西南風有關，寬度上南側大約是北側的260%，氣象局預報資料有南側低估、北側高估的趨勢。部分北行颱風如海馬、象神等為入秋後來台，因西南風減弱，東北季風增強造成北側寬度 > 南側，寬度上北側大約是南側的170%。
  - ✓ 7號颱風偏西北行，大多北側大於南側，部分颱風因引進西南氣流，南側風場較大。
  - ✓ 8、9號路徑向東北移動的颱風，東北側較強。寬度上北側大約是南側的290%。部分颱風引進西南風，偶爾有南側大的情形。



太平洋高氣壓有隨著月份往北移、增強且西伸的趨勢（6~8月）

### 三、過山颱風風場變化

- (一) 路徑2（西行過北台灣）
- 因狹管效應可見梧棲一帶風速較大，台灣東部因位於氣流流經山脈背風側，形成弱風尾流區，台灣東部外海則因蘭嶼本身不受地形阻礙，與台灣本島相較之下風速較大。而在我們所分析的颱風中，卡玫基（2008）於7月登陸台灣本島，中心移動至本島中央時，台灣中南部受颱風西北風影響伴隨強烈西南氣流於中部一帶出現較大風速。
- (二) 路徑3（西行過中台灣）
- 往西北方前進過程中，颱風本身西北風環流與西南氣流輻合，致中部出現較大風速，如莫拉克（2009）與蘇迪勒（2015）等。
- (三) 路徑4（西行過南台灣）
- 由於地形阻擋，全台僅蘭嶼風速達七級風以上，且過山前颱風中心位置南方風速普遍大於北方風速，而中心過山時，近中心風速普遍小於外圍風速。
- (四) 路徑9（自台灣海峽北上）
- 由於逆時針旋轉氣流遭受台灣山脈阻擋，導致台灣西半部位於背風側，風速微弱，而中心普遍風速小。
- 四、氣流場動力實驗模擬裝置
- (一) 當改變抽風裝置風力調節孔大小時，可模擬不同強度的颱風。開口越小強度越強。
  - (二) 當改變抽風裝置之深度時，可模擬不同範圍的颱風。放置位置越深，範圍越小。
  - (三) 當改變關閉引流孔的數量及位置時，我們利用氣流場模擬出的颱風因氣流場內流體供給強弱的改變，使風場對稱性產生變化。
  - (四) 當改變抽風裝置放置位置時，可模擬颱風中心位置偏移的情形，在中心位置的前方出現較大風速，後方出現較小風速。
  - (五) 將抽風裝置傾斜指向低層中心（風場中央），觀察風場結構，雖然這個方法不見得能模擬風切造成的颱風熱力學變化，但依然觀察到高層中心附近下方風力較強的結果，這部分還需要再深入探討。
  - (六) 氣流場內放置單片障礙物時，可模擬風場因地形阻礙，於背風側產生尾流區，外圍環流繞過障礙物與副低壓氣流輻合形成噴流。
  - (七) 於氣流場內放置等比例縮小台灣模型時，可模擬颱風中心於台灣北、中、南部登陸前後風場變化情形，並利用我們所分析的颱風風場圖與氣流場所模擬出的風場圖進行比對，發現結果甚為一致。

## 陸、參考文獻及資料（部分）

1. CWB、JMA、IMOC、JTWC、氣象局颱風預報輔助系統、風場預報網站（2018）
2. 郭宜玟、江怡臻、吳昱輝（2015）凌「雲」馭「風」—以霧化水分子氣流場模型，模擬颱風在不同環境下的風場與路徑變化。中華民國第55屆中小學科學展覽會。國中組地球科學科。
3. 江孟恆（2015）。環境風切引發之颱風對流不對稱研究-衛星資料分析及數值模式模擬。中國文化大學環境學院地學研究所大氣科學組碩士論文。
1. 朱錦洲、王時鼎、郭光輝（1992）。颱風過山之水工模擬。天氣分析與預報研討會彙編:P.463-474。
2. 艾寧靜（2012）。颱風與季風共伴之環境場研究。中華防災學刊6(2)p. 247-253。
3. Shea, J.、Gray, M.（1973）The Hurricane's Inner Core Region.I.Symmetric and Asymmetric Structure. Journal of the atmospheric science. 30: 1544~1564。