

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 地球科學科

佳作

030506

雙「風」對決，勢「伴」功倍—探討季風對颱風  
風場之影響與模擬

學校名稱： 高雄市立仁武高級中學

作者：  國二 林伯羽  國二 郭泳承  國二 楊可安	指導老師：  蘇毓智  林姝君
---	-----------------------------

關鍵詞： 風場不對稱性、等角螺線、切變式輻合

## 摘要

為探討季風對颱風風場之影響，本研究選取自 2013 至 2023 年間 279 個颱風，分析與季風互動後的七級風範圍及氣流輻合情形，並設計實驗模擬。我們發現，約 84% 的颱風受季風影響，常使風場不對稱，本研究以螺旋形取代傳統的正圓描述颱風風場，發現東北季風共伴時，風場北大南小、西大東小，為 6 字等角螺線形，輻合帶類似鋒面結構且多在北側；西南季風共伴時，風場南大北小、東大西小，為 9 字等角螺線形，輻合帶多在西南側；雙側季風共伴則都有影響；而無共伴時，風場呈橢圓形且無明顯輻合帶。本研究以水流場實驗模擬單、雙側季風共伴輻合帶，並分析實際颱風案例之氣流進入角，以氣流場裝置模擬颱風受季風影響的風速與風向場不對稱性，其結果與實際情形吻合。

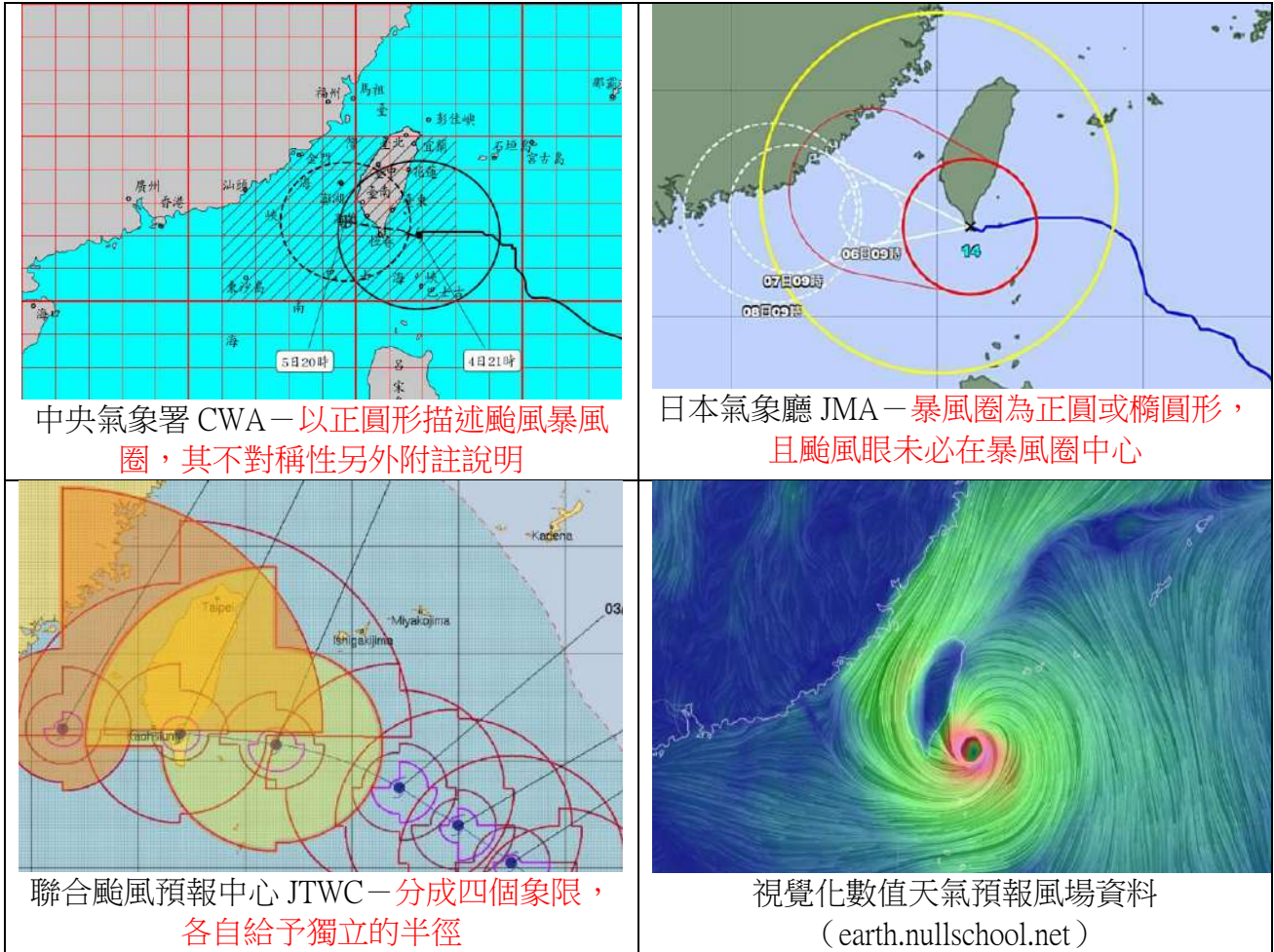
## 壹、研究動機

在去年（2023），台灣經歷了六個颱風的侵襲，其中，十月初侵襲台灣的「小犬颱風」令我們印象深刻，在颱風暴風圈尚未接觸台灣陸地前，各地便已陸續颳起強烈的東北風，特別是在離暴風圈較遠的「澎湖、北部地區」一帶，風速更為強勁，不禁使我們想了解：**「季風」共伴對颱風風場會產生什麼影響呢？**

目前學界普遍認同颱風風場存在不對稱性，受季風、地形影響，各國會調整預報方法（見表一）。中央氣象署 CWA 將颱風四個象限之平均半徑作為暴風圈，並加以附註；日本氣象廳 JMA 的暴風圈為橢圓形，颱風風眼未必在暴風圈正中心；美軍 JTWC 則分成四個象限給予獨立暴風半徑，因此我們想到：**是否還有其他幾何形狀更貼近風場範圍呢？**

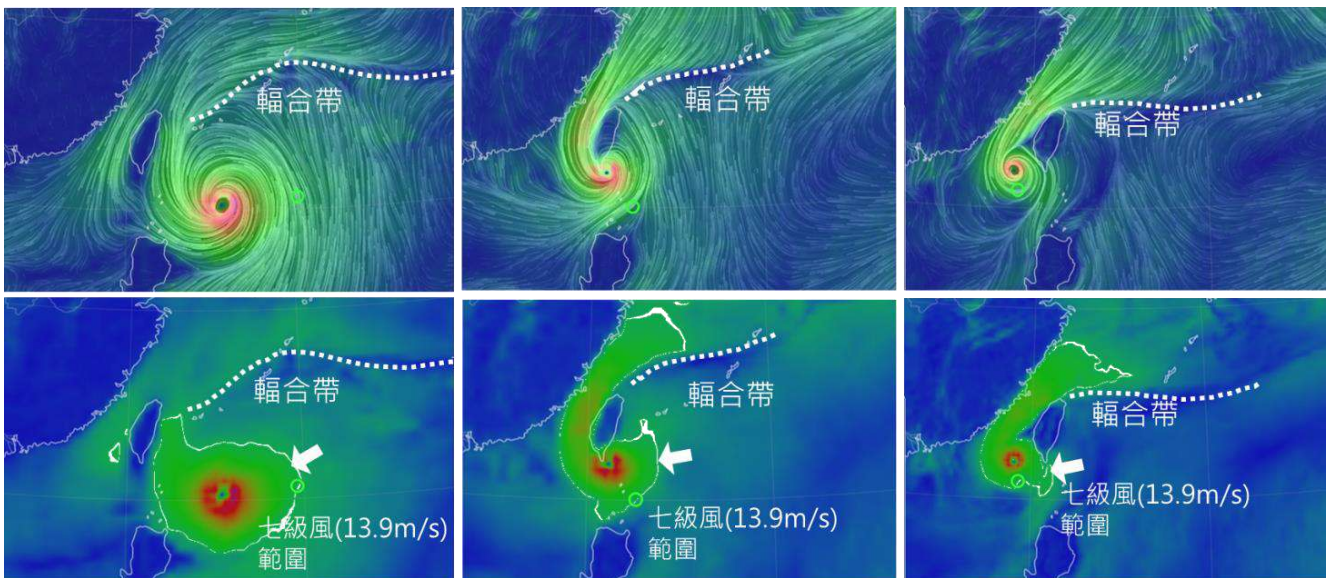
在歷屆科展報告中，「颱風與季風共伴」及「颱風風場的不對稱性」相關研究有兩篇（見表三），分別是：「Co-movement！秋颱共伴效應之深入探討（蕭柏智等，2018）」，利用輻合輻散場探討颱風是否與東北季風共伴，並分析造成顯著降雨的路徑。而「風度「偏偏」—分析颱風風場的不對稱性及實驗模擬（莊詠軫等，2018）」，藉由分析離島測站風速資料，發現西行颱風的西側 > 東側、北側 > 南側；北行颱風則有可能受到西南或東北季風影響，並設計氣流場實驗模擬；**本研究以視覺化數值模擬網站分析各種與季風共伴的颱風，分析風場與輻合帶（見表二），期望提出新的暴風圈定義方法。我們也改良前人的颱風氣流與水流場模擬實驗，使研究更具直觀價值。**

表一、世界各國處理暴風圈不對稱的預報方法（以 2023 小犬颱風為例，圖自各預報網站）



表二、本研究以視覺化數值模擬網站 (earth.nullschool.net) 截圖分析風場及輻合帶 (2023 小犬颱風)

登陸前，風場形狀「∞」字形      登陸時，風場形狀「6」字形      過山後，風場形狀「σ」字形



表三、前人研究

年/屆	標題	發現
2018/ 58 屆	高中組，地球與行星科學科 <b>風度「偏偏」—分析颱風風場的不對稱性及實驗模擬</b> （莊詠軫等，2018）	1. 未受地形效應破壞之前，西行颱風半徑普遍是西>東、北>南。 2. 6 號路徑颱風大多南>北，可能是颱風引進西南風所造成，部分颱風與東北季風共伴使北側較大。
2018/ 58 屆	高中組，地球與行星科學科 <b>Co-movement！秋颱共伴效應之深入探討</b> （蕭柏智等，2018）	1. 5、6、9 號颱風發生共伴機率較其他路徑之颱風高。 2. 共伴會隨著颱風環流與東北季風相對位置的接近而出現增強現象。 3. 颱風路徑與共伴、地形效應可能具有關聯性。
2024/ 64 屆 (本研究)	<b>雙「風」對決，勢「伴」功倍—探討季風對颱風風場之影響與模擬</b>	1. 分析視覺化數值氣候資料，發現東北季風共伴下，風場多為「6」字等角螺線形；西南季風共伴下，多為「9」字等角螺線形，東北與西南季風均共伴則都有可能，無共伴則多呈橢圓形。 2. 提出以等角螺線方式定義颱風暴風圈。 3. 設計水流場實驗，模擬單側與雙側季風與颱風共伴產生的的輻合帶。 4. 改良氣流場裝置，使其可調整入風角度，模擬颱風受季風影響的風速場與風向場不對稱性。

## 貳、研究目的

### 一、全年颱風分析

- (一) 路徑分析
- (二) 強度分析
- (三) 季風共伴分析

### 二、風場與輻合帶分析

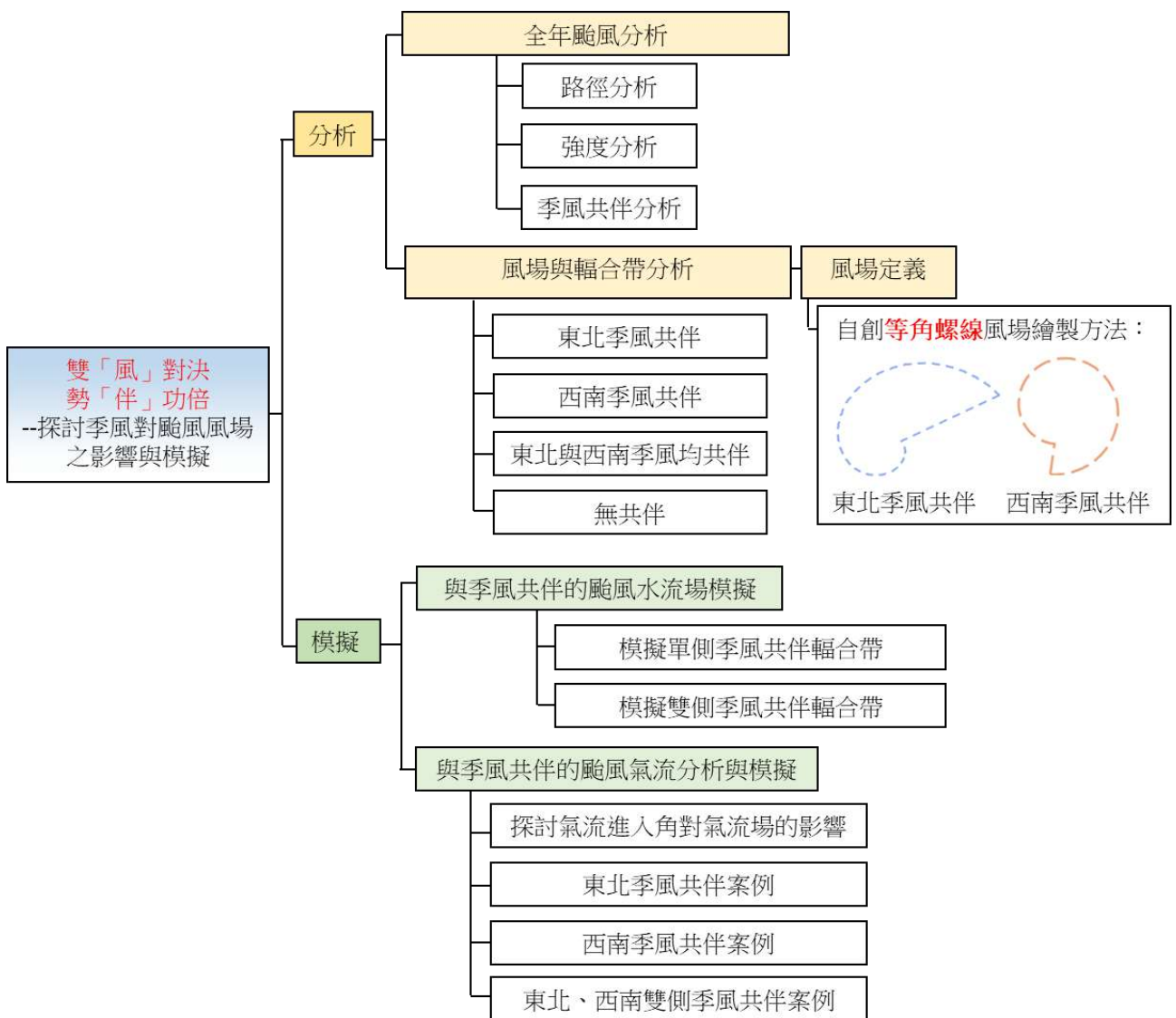
- (一) 東北季風共伴
- (二) 西南季風共伴
- (三) 東北與西南季風均共伴
- (四) 無共伴

### 三、與季風共伴的颱風水流場模擬（模擬輻合帶變化）

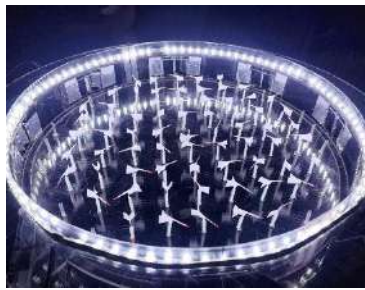
- (一) 模擬單側季風共伴
- (二) 模擬雙側季風共伴

### 四、與季風共伴的颱風氣流分析與風場模擬（模擬風速場、風向場與輻合帶位置）

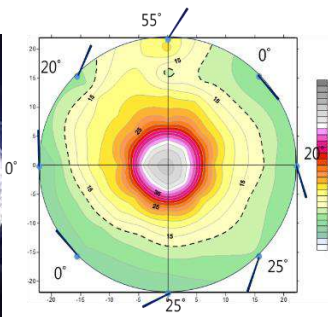
- (一) 探討氣流進入角對風場的影響
- (二) 東北季風共伴案例
- (三) 西南季風共伴案例
- (四) 東北與西南季風均共伴案例



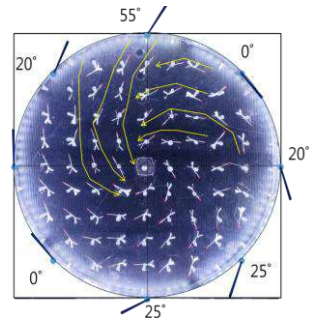
水流場輻合帶實驗



氣流場模擬裝置



風速場實驗



風向場實驗

圖一、研究架構圖（下方為本實驗模擬之實際照片及自行繪製的風速場）

## 參、研究設備及器材

器材	耗材	分析 / 製圖軟體
電動螺絲起子	廠牌：BLACK+DECKER	石英砂 1 號
	型號：BCRTA601	瓦楞板、壓克力板
熱線式風速計	廠牌：Lutron	鐵夾、L 型角鐵
	型號：AM-4204	光碟片、塑膠片、吸管
吸塵器	廠牌：東元 TECO	熱熔膠、UV 膠、寬細膠帶
	型號：XYFXJ501	拭鏡紙、紅色顏料
防水塑膠布	細鐵絲、鉛線（大）、黑色紙板	大氣科學研究與應用資料庫
手電筒、大玻璃、木棒（聚砂用）	橡皮塞、絕緣膠帶、鋁膠帶	維基百科



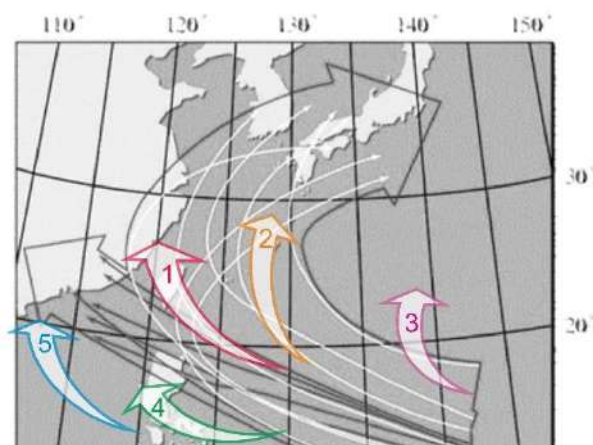
圖二、A.吸塵器。B.熱線式風速計。C.電動螺絲起子。（作者自行拍攝）

## 肆、研究過程或方法

### 一、颱風的選擇與路徑分類

- (一) 本研究選擇 2013 ~ 2023 年間的所有颱風，參考維基百科整理之歷年颱風季的颱風生活史、路徑、強度、是否與季風共伴等資料進行分類與分析。
- (二) 強度定義：依中央氣象署定義之輕度、中度、強烈颱風分類
- (三) 路徑分類（圖三）：

1. 侵台（中央氣象署定義 1-9 號路徑）
2. 台灣東方北行
3. 遙遠太平洋
4. 靠近或穿越菲律賓
5. 南海
6. 特殊（不納入分析）

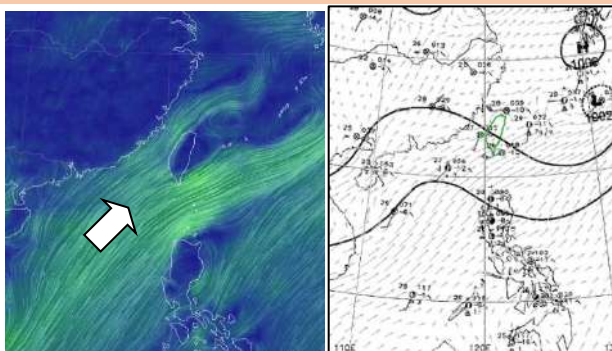


圖三、本研究採取之路徑分類方式

（改繪自國立自然科學博物館網站東亞颱風路徑圖）

(四) 季風定義：以 Earth Nullschool、ASRAD 大氣科學研究與應用資料庫天氣圖判斷颱風是否與季風互動

西南季風影響典型風場 2019/08/16 09 : 00UTC



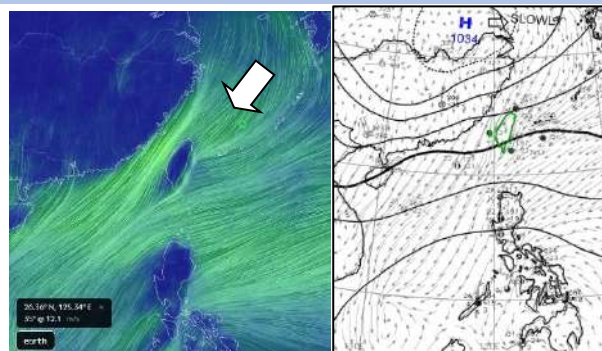
Earth Nullschool 大氣科學研究與應用資料庫

西南季風成因：索馬利亞噴流、印尼跨赤道氣流、副熱帶高壓邊緣氣流合流而成。大約在每年的 5-6 月成形，影響至 8 月。共計三個月。

**入夏：**台灣附近東北風結束日期

年	日期	年	日期
2013	6/3	2019	6/15
2014	6/12	2020	5/27
2015	5/25	2021	5/3
2016	5/19	2022	5/21
2017	5/29	2023	5/10
2018	6/16		

東北季風影響典型風場 2022/12/29 00 : 00UTC



Earth Nullschool 大氣科學研究與應用資料庫

東北季風成因：入秋後，大陸上出現冷高壓東移出海，帶來東北風，影響時間約從 10 月到隔年 4 月。共計七個月。

**入秋：**台灣附近出現第一波東北風日期

年	日期	年	日期
2013	8/20	2019	8/22
2014	8/30	2020	8/30
2015	8/23	2021	9/8
2016	8/21	2022	9/30
2017	8/29	2023	8/29
2018	8/23		

## 二、Earth Nullschool 歷史風場及風速圖擷取

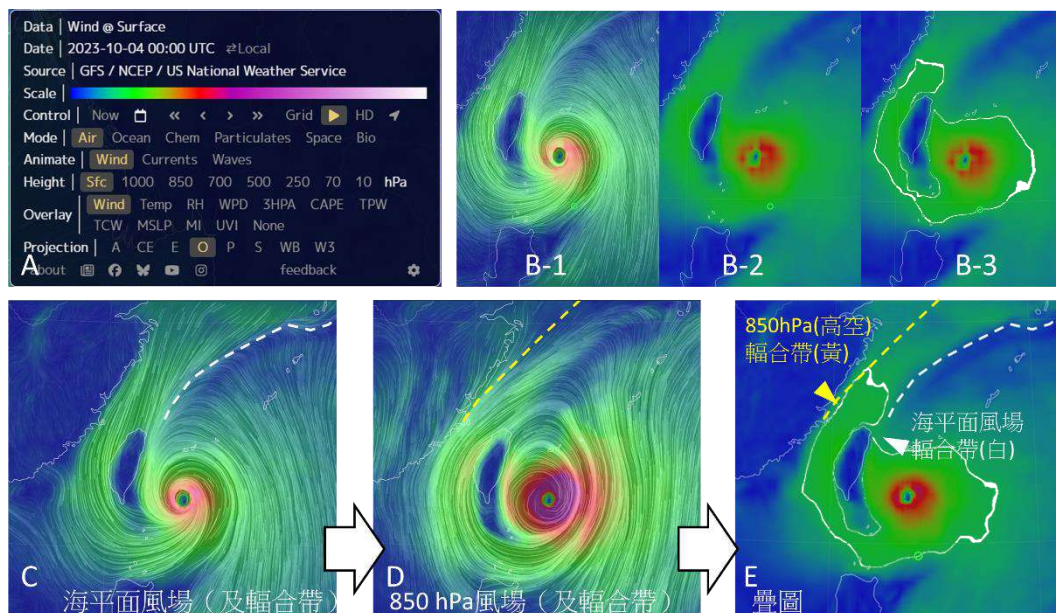
(一) 本研究使用 Earth Nullschool 網站的視覺化數值天氣預報歷史資料進行分析，該網站收錄自 2013 迄今逐日風場資料，資料來源 GFS (Global Forecast System)，作者為 Cameron Beccario，該網站入選為氣候素養和能源意識網路 CLEAN 教育資源。

數值天氣預報：隨著全球氣象觀測資料共享、衛星觀測、電腦運算技術進步，數值天氣預報模式的準確性得到飛躍性提升，成為現今天氣預報的重要工具。

(二) 進入 Earth Nullschool 網站，查詢 2013 至 2023 年颱風資料。選定範圍 110°E~140°E、10°N~30°N 進行觀察；時間選擇 00:00 UTC 國際標準時間。

(三) 颱風暴風範圍圈選 (圖四 B-2、B-3)：訂定七級風風速 13.9 m/s (七級風下限)、八級風風速 17.2 m/s (八級風下限)、20.8 m/s (九級風下限)、十級風 24.5 m/s (十級風下限)，使用滑鼠點擊觀測範圍，將單位改為 m/s，使用截圖功能，擷取風場圖後「設定透明色彩工具」，便可將特定風速範圍標示。

(四) 颱風與季風共伴位置判斷 (圖四 C~E)：在動態風場圖找到水平風切位置，作為颱風共伴位置判斷依據，標示出輻合帶位置圖。本研究比較海平面及 850 hPa (約海拔 1500 m) 輻合帶。



圖四、Earth Nullschool 網站資料 A.操作頁面。B-1.風場動畫、B-2.風速圖、B-3.圈選風速範圍 13.9m/s 區域。C.海平面風場。D.850 hPa 風場。E.將高低層輻合帶與風速場疊圖

### 三、暴風範圍繪製

#### (一) 等角螺線風場繪製方法

1. 測量暴風圈直徑的長、短軸數值。
2. 利用長、短軸長度，算出倍數  $r$ 。  

$$\text{颱風風場長軸} (a_{360} + a_{180}) \div \text{短軸} (a_{180} + a_0)$$

$$= (a_{180} \times r + a_0 \times r) \div (a_{180} + a_0) = \text{倍數 } r \text{ (轉 } 180^\circ)$$
3. 算出  $a_0$  項的距離及以每度角為項數的距離公比  $k$ 。  

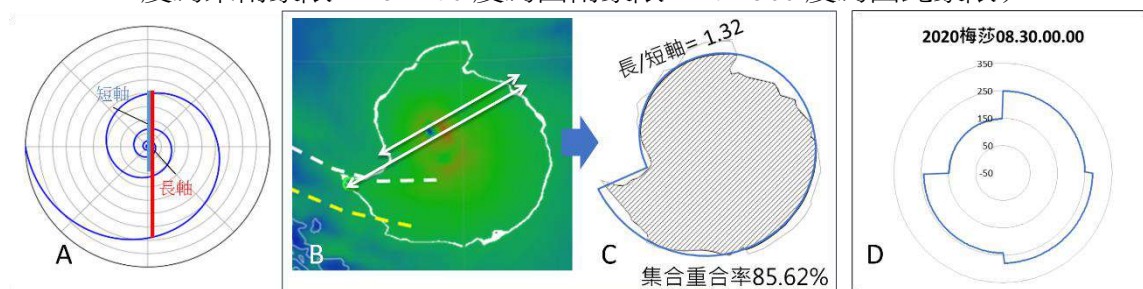
$$\text{長短軸倍數 } r^{(1/180)} = \text{等比數列每項的距離公比 } k$$
4. 算出等比數列的每一項，再以 Excel 雷達圖繪製等角螺線圖。

$$a_n = a_0 \times k^n \text{ 此為等比數列公式}$$

(本研究之等角螺線是以等比數列遠離中心的距離繪製，可無限延伸)

#### (二) JTWC 四象限暴風圈繪製方法

1. 進入 JTWC (Joint Typhoon Warning Center) 網站，下載 2013~2022 年颱風資料。
2. 利用 Excel 雷達圖繪製四象限暴風範圍 (0-90 度為氣象資料東北象限、91-180 度為東南象限、181-270 度為西南象限、271-360 度為西北象限)。



圖五、暴風範圍繪製 A.等角螺線是以幾何級數延伸之數列。B.利用 Earth Nullschool 網站資料繪製七級風風速場的長短軸。C.利用 Excel 雷達圖作出等角螺線風場，使其與實際風場有最大集合重合率。D. JTWC 的四象限暴風圈畫法。



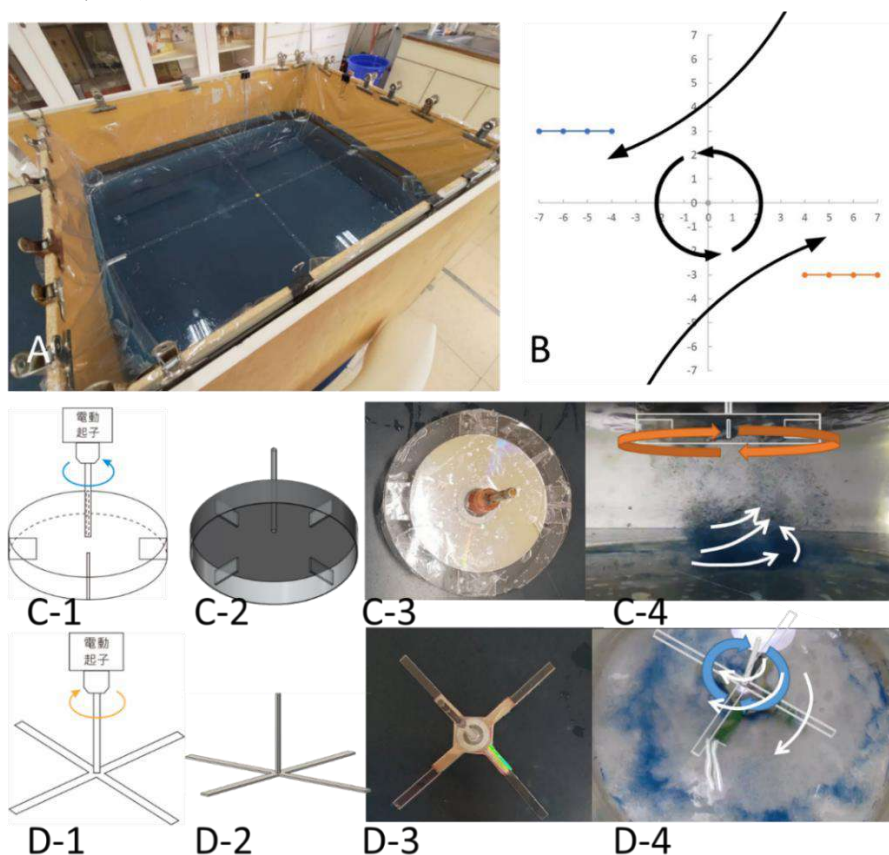
#### 四、水流場模擬裝置（見圖六，照片及圖片為作者拍攝及繪製）

##### （一） 水流場座標設定

1. 將防水塑膠布摺成長 100 公分、寬 90 公分的長方形水槽，四周以木板加固。
2. 以白色油漆筆標記 x 軸與 y 軸，以每 5 公分為單位作標記。

##### （二） 水流場實驗步驟

1. 注水使水深達 8 公分，加入 100 公克 1 號石英砂。
2. 颱風模擬：將颱風模擬裝置放在水面，使水流逆時針旋轉，底層水流旋入。  
（裝置為一直徑 16 公分圓盤，邊緣加裝四片 3 x 1.5 公分葉片，周圍以塑膠片圍繞，裝上 180RPM 電動起子）
3. 季風模擬：將高壓模擬裝置放在水底，使水流順時針向外旋出。  
（裝置為 24.5 x 1 公分塑膠片交叉為十字形，裝上 180RPM 電動起子）
4. 將水槽分成 4 個象限，原點為颱風低壓中心，藍點為模擬單側季風共伴高壓放置位置，橘點為雙側季風共伴實驗高壓放置位置。
5. 將石英砂聚集在高壓裝置旁，讓低壓先轉 10 秒，高壓再轉 7 秒後停止，模擬出輻合帶並拍照紀錄。



圖六、水流場模擬裝置（照片及圖片為作者拍攝及繪製）A.水流場實際照片。B.高低壓放置位置。C-1 低壓裝置說明圖、C-2 低壓裝置 3D 圖、C-3 低壓裝置實際照片、C-4 低壓裝置運作圖。D-1 高壓裝置說明圖、D-2 高壓裝置 3D 圖、D-3 高壓裝置實際照片、D-4 高壓裝置運作圖

## 五、氣流場模擬裝置（見圖七，照片及圖片為作者拍攝及繪製）

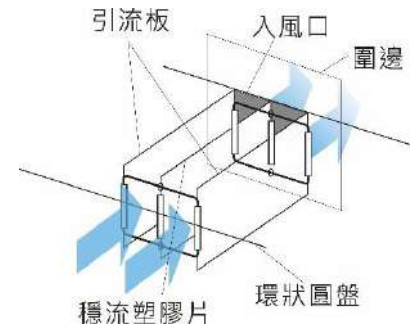
### （一）氣流場設計

#### 1. 圍邊

- (1) 裁切 145 x 8 公分，厚 1.2 毫米的塑膠片，繞成直徑 46 公分的環狀。
- (2) 在圓環距離底部 1 公分處，每隔 13 公分開 1 個洞，共裁切 8 個入風口，孔長 5 公分高 4 公分，八孔依逆時針編號 1 到 8 號入風口。

#### 2. 引流板

- (1) 裁切 8 x 5 公分的壓克力板，以 2 片為一組水平排列，前端黏上小吸管，並將鉛線折成兩個口字形固定在吸管中，使兩片壓克力板可滑動成各種角度的平行四邊形，最後在兩片壓克力板間再加一片穩流塑膠片。
- (2) 將組裝好的引流板裝在入風口上，使其可動成各種角度（調整引流板角度，後續簡稱入風口角度）。



引流板構造（作者繪製）

#### 3. 環狀圓盤／引流板上蓋

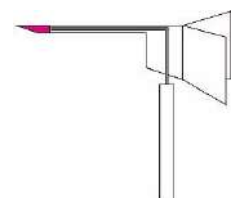
- (1) 直徑 60 公分的圓形壓克力板，中央切掉直徑 46 公分的圓。
- (2) 將此環緊套著圍邊，並往下壓至與引流板密合。

#### 4. 上蓋

- (1) 製作與圍邊密合的上蓋，並在中間切出邊長 3 公分的正方形。
- (2) 在中央孔洞上設計風速調節口連接吸塵器，並預留長 3.5 公分、寬 1.5 公分孔洞兩個，以調節風速（全關—強，半開—中，全開—弱）。
- (3) 從中心開始，向外每 4 公分挖一直徑 1 公分的圓形孔洞，總計 5 個，作為熱線式風速計探頭放入測量風速的位置。

#### 5. 風速場風速測量

- (1) 將熱線式風速計上的單位調成 km/hr。
- (2) 將風速計放入上蓋的圓形孔洞測得最大且穩定數值再紀錄，輸入 Surfer 繪製成等值線圖。



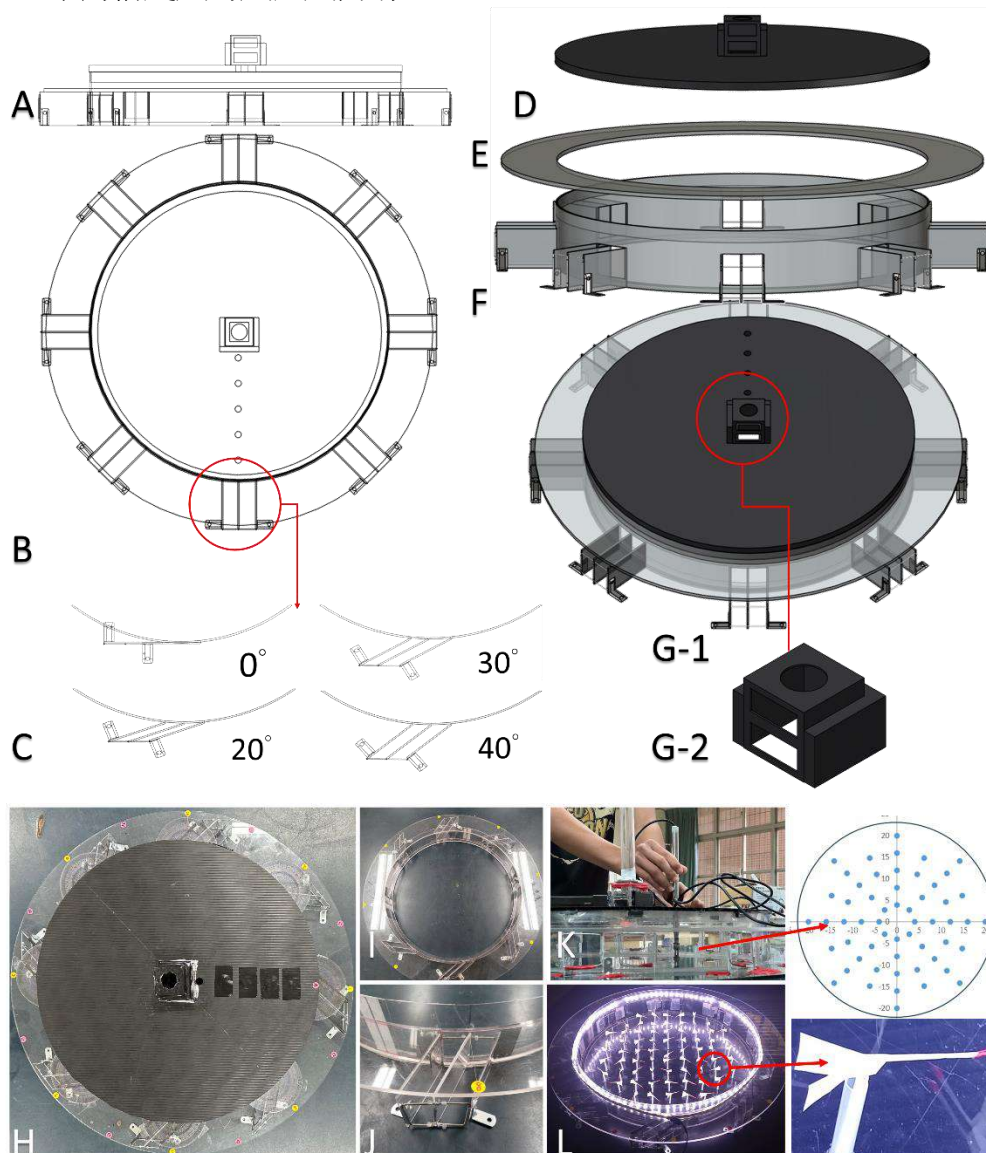
微型風標構造  
（作者繪製）

#### 6. 風向場內的微型風標

- (1) 在直徑 45 公分的圓形壓克力板上畫上直角座標，每 4 公分為單標記方格，每個點都黏上 2 公分長的 4 mm 吸管。
- (2) 製作微型風向計，以細鐵絲為軸承，將拭鏡紙剪成長 3.5 公分，寬 1 公分，尾翼岔開的風標，前端塗成紅色，完成後插入吸管中。
- (3) 將圓形壓克力板及微型風向計放在氣流場內，圍上 LED 燈條，放在透明玻璃板上並架高，由下往上拍攝。

## (二) 氣流場實驗模擬方法

1. 本實驗氣流調節口都是封緊的（風速最強）。
2. 將量角器放在環狀圓盤上，使量角器中心對齊引流板中間的穩流塑膠片，待對到指定角度後，以絕緣膠帶固定引流板。
3. 測試八個入風口氣流進入角均  $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $30^\circ$  的理想型颱風風速風向場。
4. 計算實際颱風八個方位氣流進入角度：選定受季風共伴的颱風案例，標示其七級風風場最大範圍，利用線上量角器測量八方位氣流進入角。東北、西南、雙共伴各挑選五~七個颱風統計，八方位均取平均值。
5. 調整八個入風口角度，模擬實際季風共伴案例的八個氣流進入角，觀察風場不對稱颱風的風速風向場。

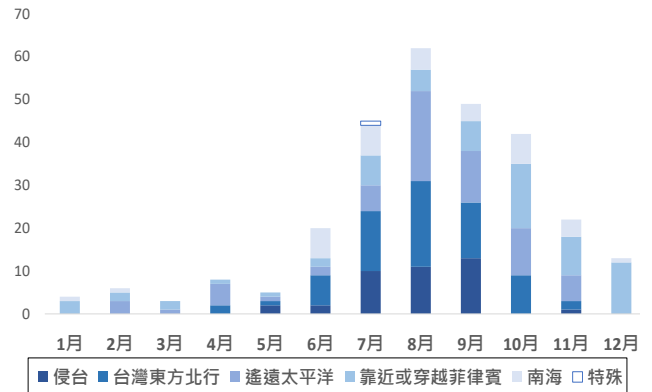
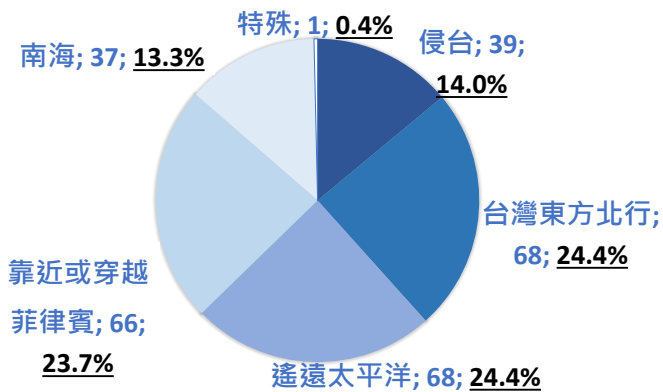


圖七、氣流場模擬裝置（照片及圖片為作者拍攝及繪製）A.氣流場側視圖。B. 氣流場俯視圖。C.入風口調整角度示意圖。D.氣流場上蓋。E.環狀圓盤／引流板上蓋。F.圍邊級引流板。G-1. 氣流場 3D 圖。G-2.氣流調節口。H、I、J.氣流場實際照片。K.風速場風速測量及測量位置。L.風向場與微型風標。

## 伍、研究結果

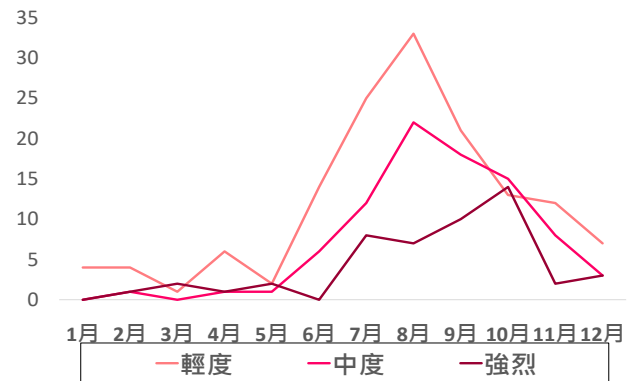
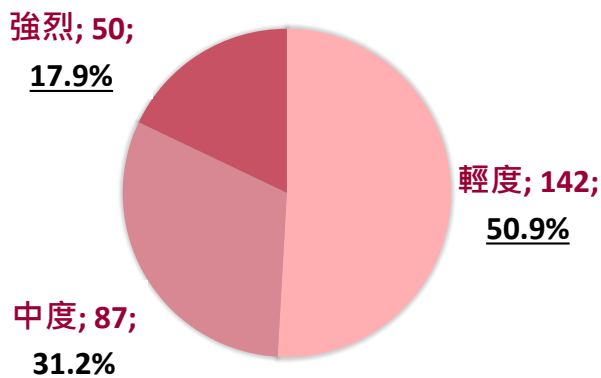
### 一、全年颱風分析

#### (一) 路徑分析 侵台／台灣東方北行／遙遠太平洋／靠近或穿越菲律賓／南海



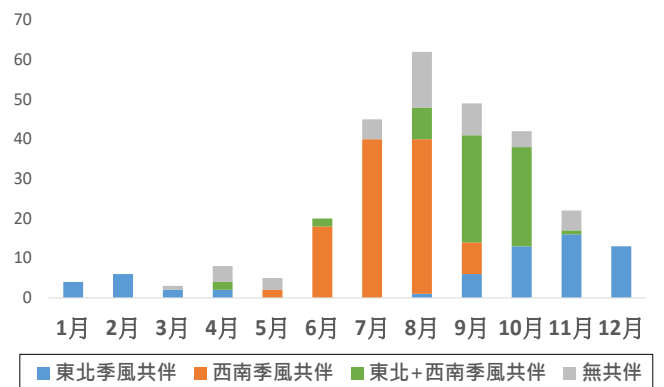
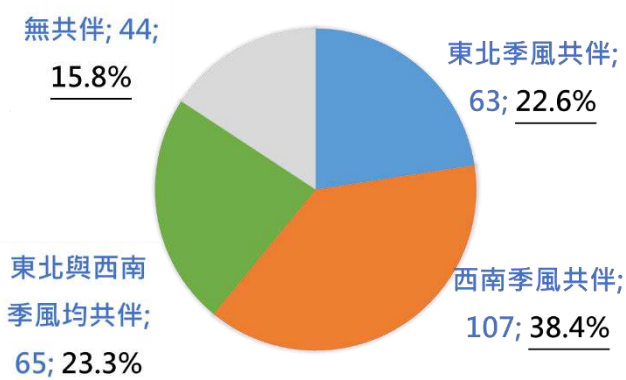
我們發現：台灣東方北行、遙遠太平洋、靠近或穿越菲律賓的颱風最常見；侵台颱風約 14% 且集中在七~九月；靠近或穿越菲律賓的颱風在十~十二月很常見。

#### (二) 強度分析 輕度颱風／中度颱風／強烈颱風



我們發現：全年颱風巔峰強度，輕颱比例最高（50.9%），其次是中度（31.2%）、強烈（17.9%）。

#### (三) 季風共伴分析 東北季風共伴／西南季風共伴／東北+西南季風共伴／無共伴



我們發現：颱風與東北季風共伴大多發生在 9 月~翌年 2 月；與西南季風共伴在 6~8 月最常見；與東北及西南季風均共伴則是在 8~10 月。

## 二、風場與輻合帶分析

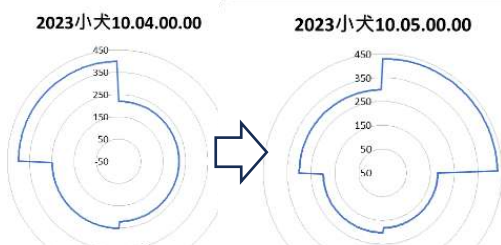
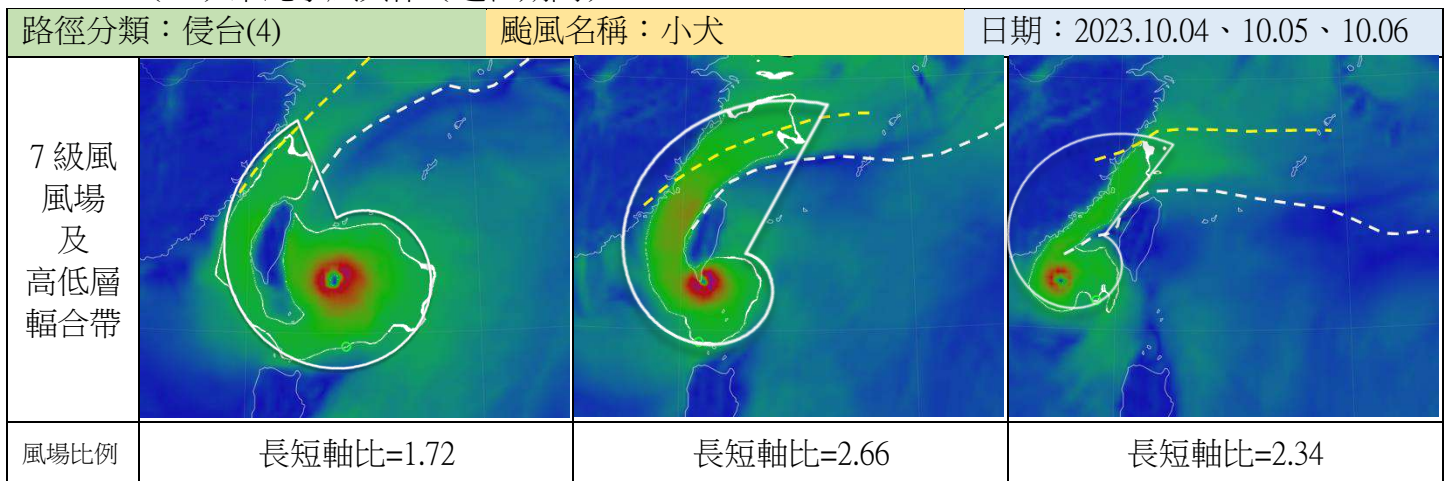
依中央氣象署統計，台灣一年受到 7 個月東北季風（十~四月）及 3 個月西南季風（六~八月）影響，受季風影響甚鉅。我們發現，許多颱風在生活史的不同時期，常受到季風的影響，甚至西南風也是颱風生成條件之一，我們選擇中度以上、發展成熟的典型案例分析包括：東北季風共伴、西南季風共伴、東北與西南季風均共伴，以及無共伴影響的颱風。以下是我們有進行完整分析的颱風列表：




主要受東北季風共伴的颱風					
年	名稱 / 路徑	年	名稱 / 路徑	年	名稱 / 路徑
2018	康芮 台灣東方北行	2019	北冕 菲、南海	2022	尼莎 菲、南海
2018	玉兔 菲、南海	2021	雷伊 菲、南海	2023	小犬 侵台 4 號
主要受西南季風共伴的颱風					
2014	麥德姆 侵台 3 號	2015	天鵝 台灣東方北行	2020	巴威 侵台 6 號
2014	海鷗 菲、南海	2018	山竹 菲、南海	2020	梅莎 台灣東方北行
2015	蘇迪勒 侵台 3 號	2019	玲玲 台灣東方北行	2021	璨樹 侵台 6 號
東北、西南季風均共伴颱風					
2014	鳳凰 侵台特殊	2016	梅姬 侵台 3 號	2019	米塔 侵台 6 號
2016	莫蘭蒂 侵台 7 號	2017	泰利 台灣東方北行	2023	蘇拉 侵台 5 號
無共伴颱風					
2015	紅霞 侵台 6 號	2015	白海豚 遙遠太平洋	2020	海神 台灣東方北行
2021	蒲公英 台灣東方北行				

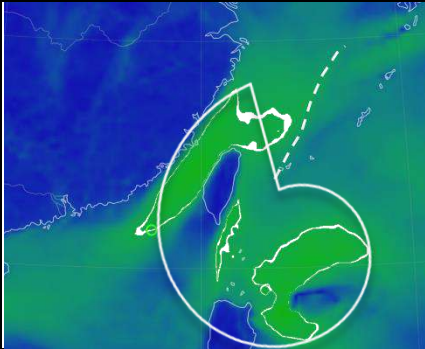
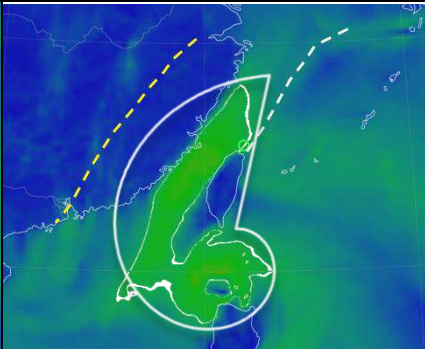
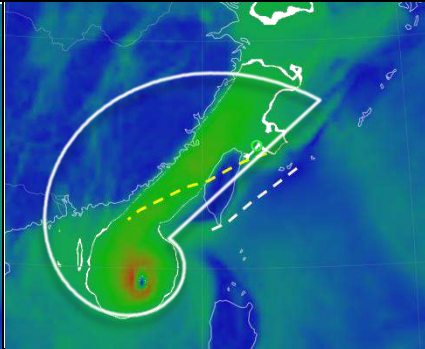
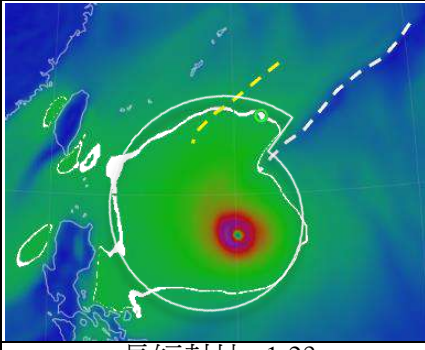
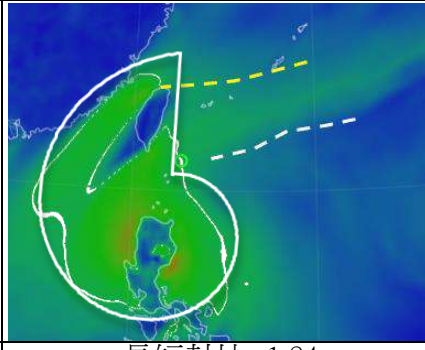
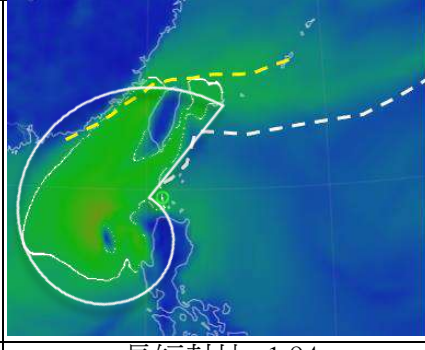
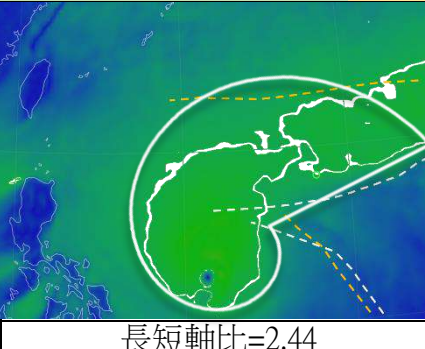
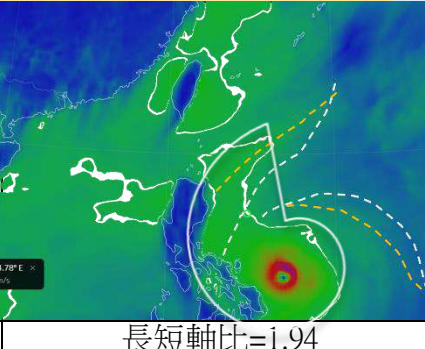
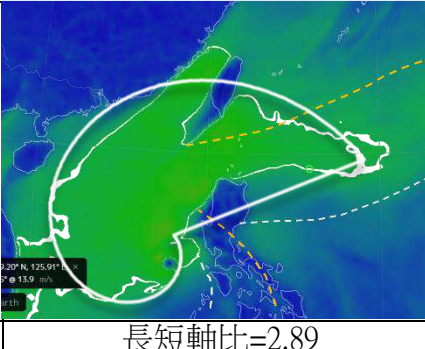
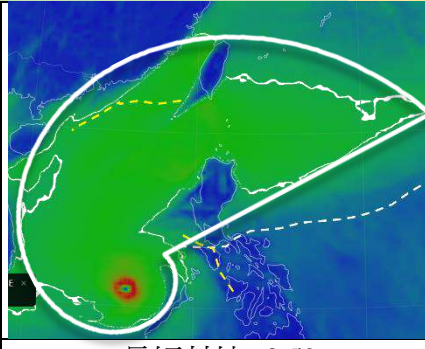
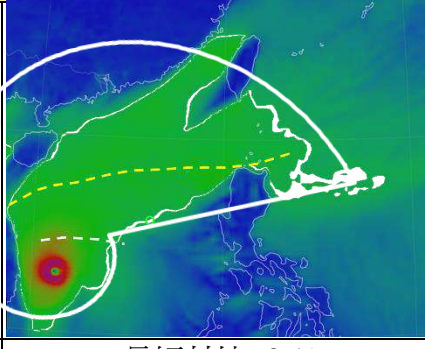
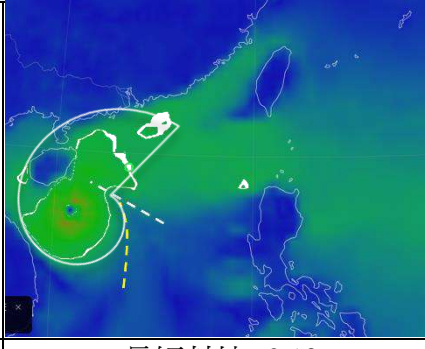
（以下原始資料來源：Earth Nullschool 網站；

颱風七級風範圍（白色不規則線）、等角螺線風場圖（白色實線）、輻合帶圖（海平面白色虛線、850hPa 黃色虛線）為作者自行繪製）

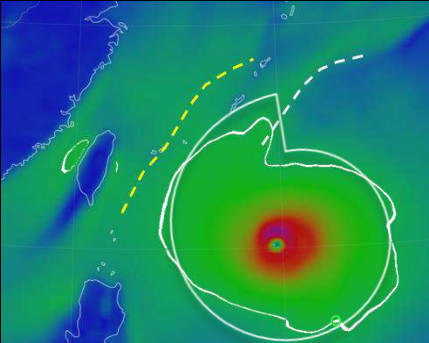
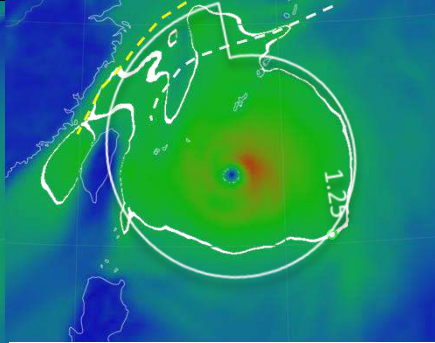
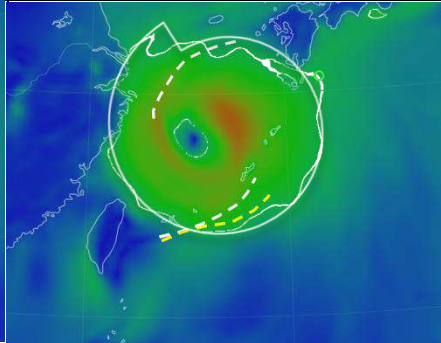
（一）東北季風共伴（近台期間）



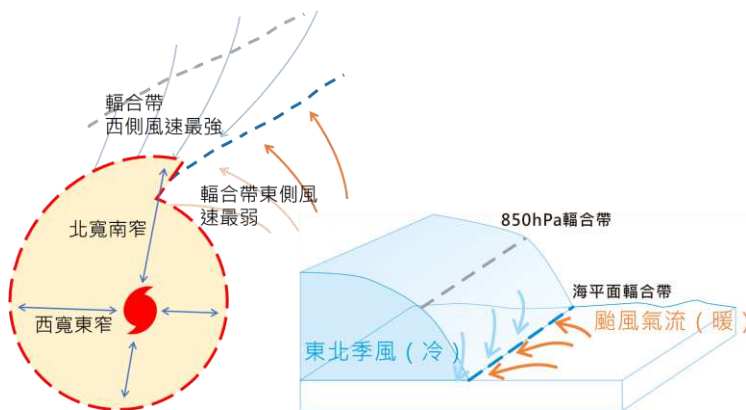
我們發現：颱風受到東北季風及地形效應影響，登陸前，風場形狀「」形，登陸時，風場形狀「」形，過山後，風場形狀「」形；海平面輻合帶從颱風北側延伸到東北側，850 hPa 的輻合帶更北，顯示出冷暖空氣交會的特徵（類似鋒面）。

路徑分類：靠近或穿越菲律賓		颱風名稱：尼莎		日期：2022.10.15、10.16、10.17	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶					
	風場比例	長短軸比=1.72	長短軸比=2.53	長短軸比=3.03	
路徑分類：靠近或穿越菲律賓		颱風名稱：玉兔		日期：2018.10.28、10.30、10.31	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶					
	風場比例	長短軸比=1.23	長短軸比=1.84	長短軸比=1.94	
路徑分類：穿越菲律賓西行		颱風名稱：北冕		日期：2019.12.01、12.02、12.04	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶					
	風場比例	長短軸比=2.44	長短軸比=1.94	長短軸比=2.89	
路徑分類：靠近或穿越菲律賓		颱風名稱：雷伊		日期：2021.12.18、12.19、12.20	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶					
	風場比例	長短軸比=3.52	長短軸比=3.41	長短軸比=2.13	

我們發現：若與東北季風共伴的颱風位於巴士海峽或南海時，其「6」字形風場長短軸比例拉大，有時甚至可達3~4倍。

路徑分類：台灣東方北行		颱風名稱：康芮		日期：2018.10.03、10.04、10.05	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶					
風場比例	長短軸比=1.31	長短軸比=1.25	長短軸比=1.17		

我們發現：東北季風共伴下，靠近或穿越菲律賓的颱風，海平面輻合帶在颱風的東北側，850 hPa 的輻合帶更偏北；風場受到台灣海峽狹管效應的影響，北側較南側大。

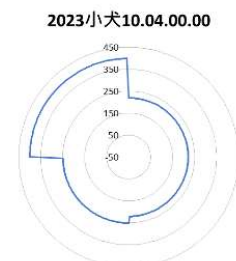
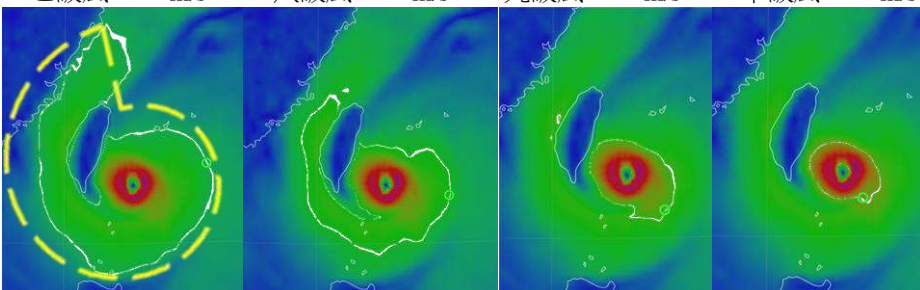


東北季風共伴下的颱風（圖左，作者自行繪製），風場北側較南側大，西側較東側大。因北邊氣溫通常較冷，冷空氣密度較大，850hPa 輻合帶普遍位在海平面輻合帶的更北邊，因此得知冷暖空氣交界面出現傾斜的現象，類似鋒面。

### 2023.10.04.0000 中颱小犬 東北季風共伴案例

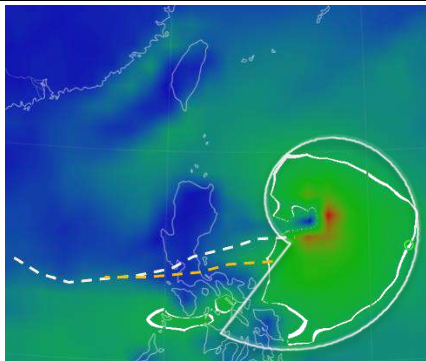
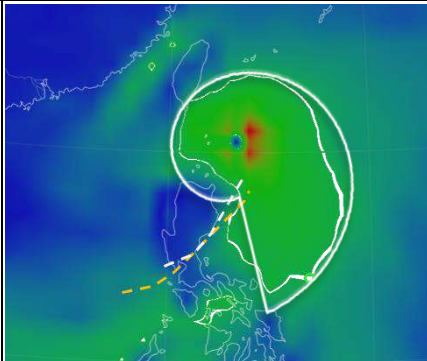
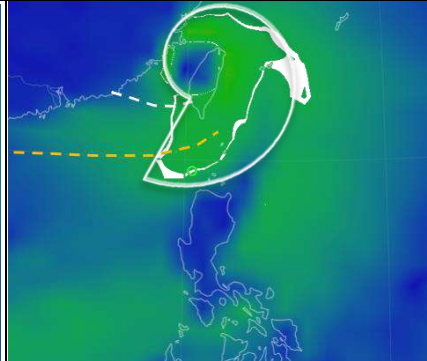
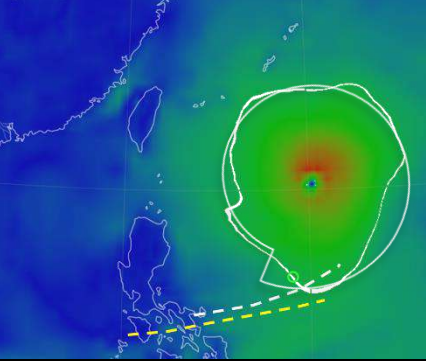
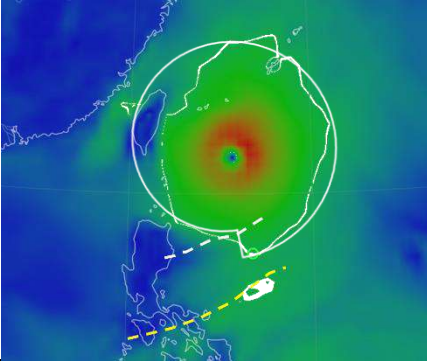
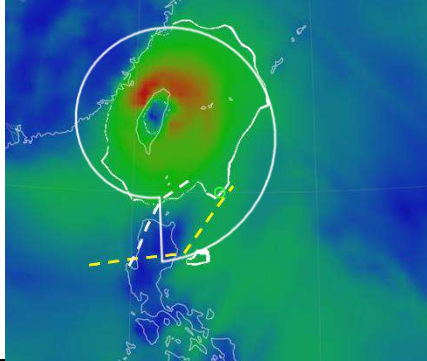
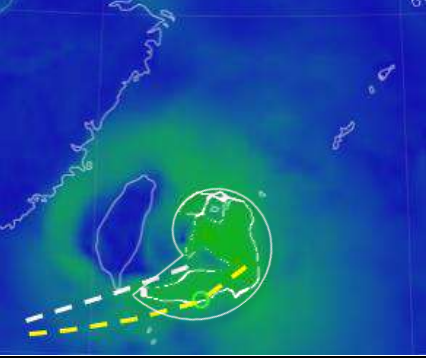
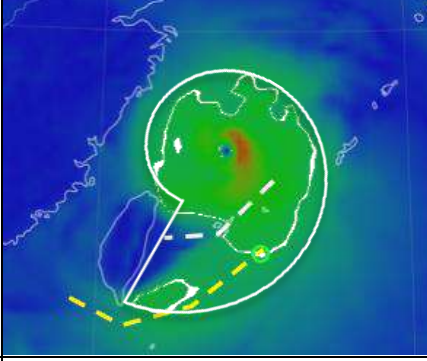
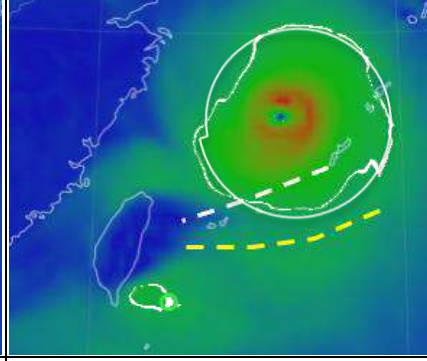
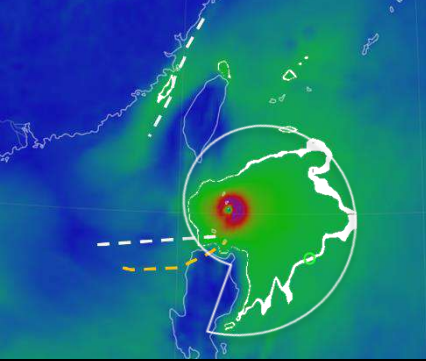
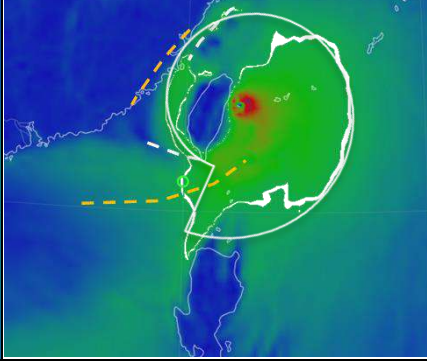
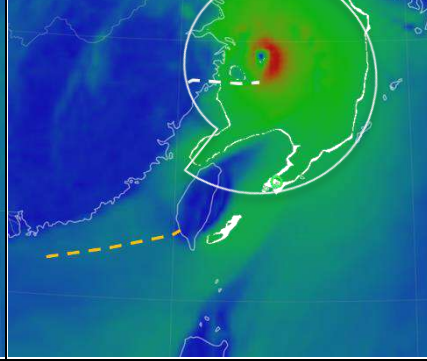
七級風 13.9 m/s    八級風 17.2 m/s    九級風 20.8 m/s    十級風 24.5 m/s

JTWC 暴風圈(34kts)



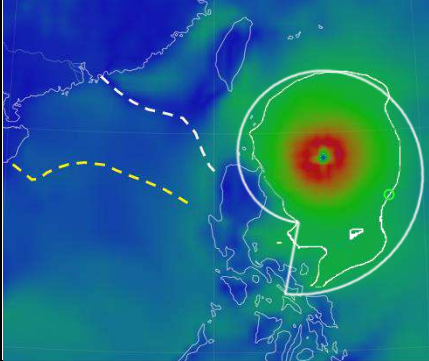
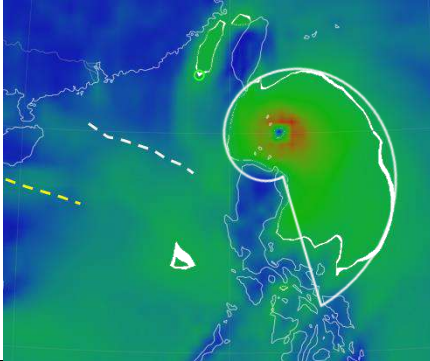
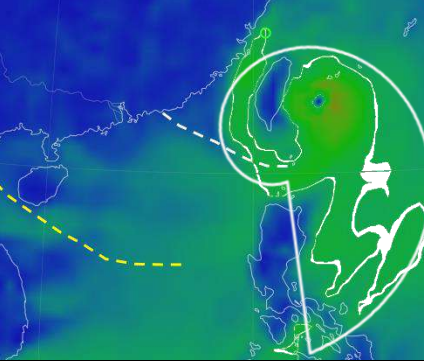
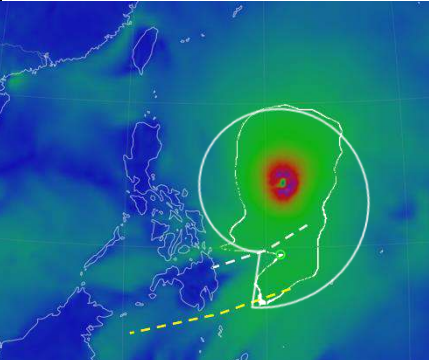
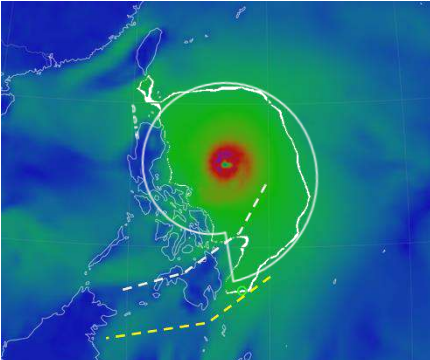
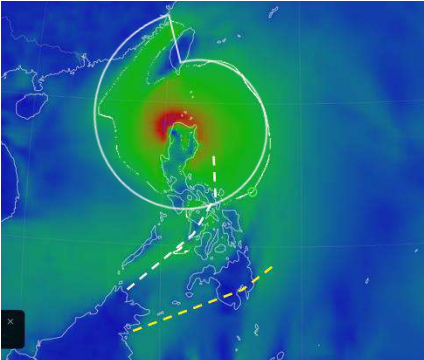
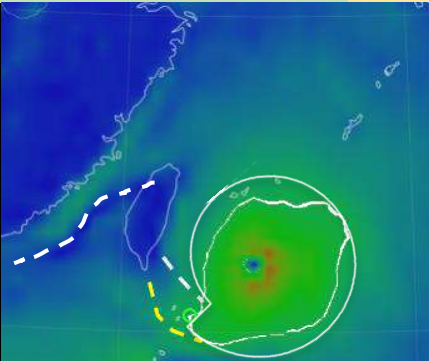
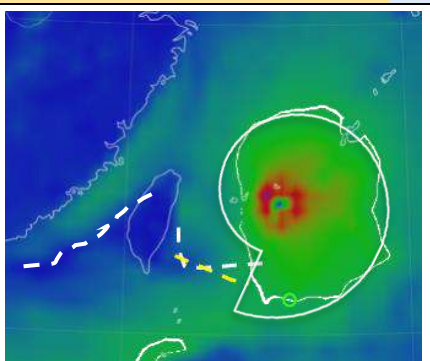
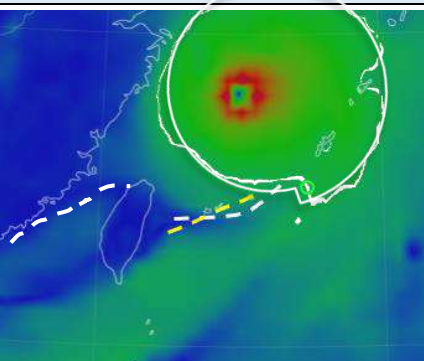
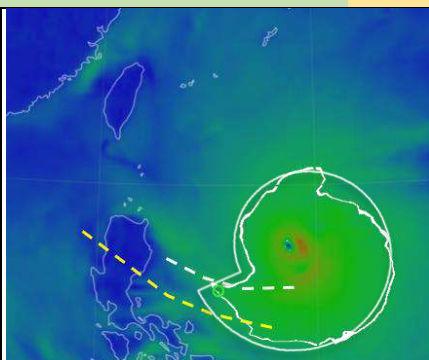
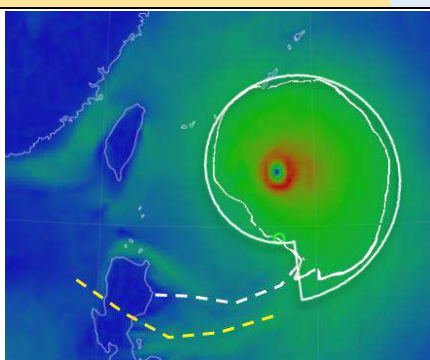
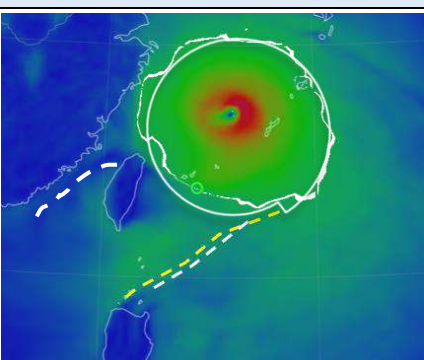
我們發現：若取樣風速弱（如美 JTWC、日 JMA），受季風影響越大也越不對稱（東北季風風速約 10-13 m/s）；若取樣風速越強（如台灣 CWA），越靠近風場中心，受季風影響越小，也越趨於圓形。（原始資料來源：Earth Nullschool 網站；JTWC 網站；等風速圈、螺旋風場為作者自行繪製）

(二) 西南季風共伴（近台期間）

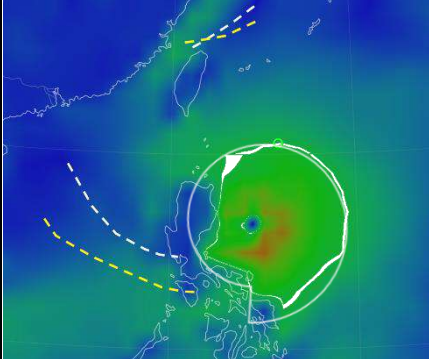
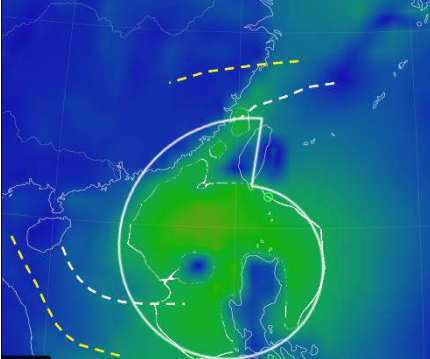
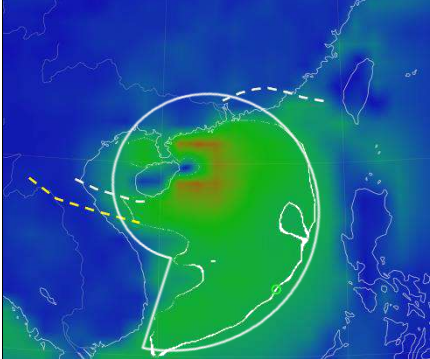
路徑分類：侵台(3)		颱風名稱：麥德姆		日期：2014.07.21、07.22、07.23	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶				長短軸比=1.92	長短軸比=2.00
風場比例	長短軸比=1.92		長短軸比=2.00		長短軸比=1.90
路徑分類：侵台(3)		颱風名稱：蘇迪勒		日期：2015.08.06、08.07、08.08	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶				長短軸比=1.19	長短軸比=1.15
風場比例	長短軸比=1.19		長短軸比=1.15		長短軸比=1.38
路徑分類：侵台(6)		颱風名稱：巴威		日期：2020.08.22、08.23、08.24	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶				長短軸比=1.75	長短軸比=1.80
風場比例	長短軸比=1.75		長短軸比=1.80		長短軸比=1.04
路徑分類：侵台(6)		颱風名稱：璨樹		日期：2021.09.11、09.12、09.13	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶				長短軸比=1.49	長短軸比=1.44
風場比例	長短軸比=1.49		長短軸比=1.44		長短軸比=1.30

我們發現：西南季風共伴的颱風，風場東南側較大，呈現「9」字形，輻合帶位於西南側。



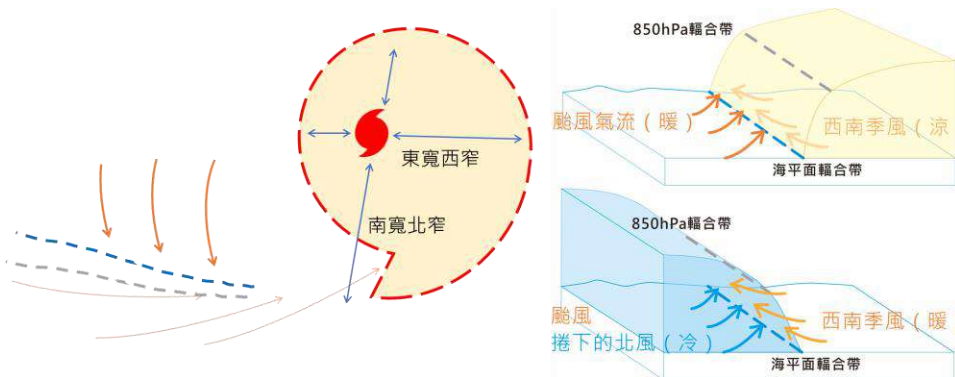
路徑分類：台灣東方北行		颱風名稱：天鵝	日期：2015.08.20、08.22、08.23
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶			
風場比例	長短軸比=1.47	長短軸比=2.35	長短軸比=2.35
路徑分類：靠近或穿越菲律賓		颱風名稱：山竹	日期：2018.9.13、9.14、9.15
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶			
風場比例	長短軸比=1.38	長短軸比=1.33	長短軸比=1.34
路徑分類：台灣東方北行		颱風名稱：玲玲	日期：2019.09.04、09.05、09.06
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶			
風場比例	長短軸比=1.21	長短軸比=1.45	長短軸比=1.08
路徑分類：台灣東方北行		颱風名稱：梅莎	日期：2020.08.30、08.31、09.01
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶			
風場比例	長短軸比=1.31	長短軸比=1.36	長短軸比=1.06

我們發現：西南季風共伴的颱風至台灣東側時，輻合帶彎曲斷裂，呈現類似梅雨鋒面的結構。

路徑分類：靠近或穿越菲律賓		颱風名稱：海鷗	日期：2014.09.14、09.15、09.16
7 級風風場及高低層輻合帶			
風場比例	長短軸比=1.26	長短軸比=1.39	長短軸比=1.55

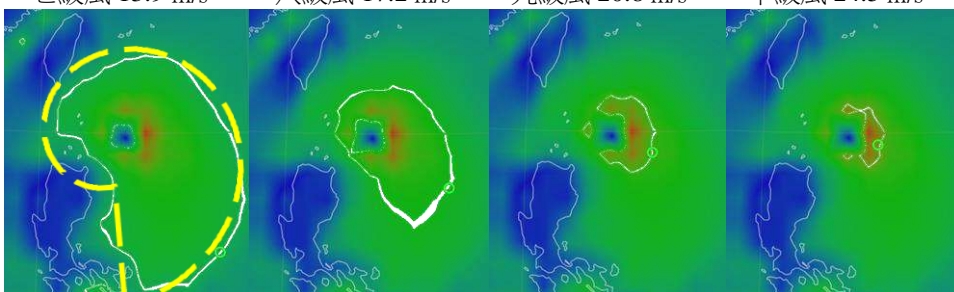
我們發現：西南季風共伴且靠近或穿越菲律賓的颱風，當颱風中心位於台灣南方時，風場會因台灣海峽狹管效應，呈現「6」字形，其餘都呈「9」字形，且颱風風場東側較西側大，南側較北側大。輻合帶位於颱風西南側，850hPa 輻合帶更偏西南。

西南季風共伴下的颱風（圖左，作者自行繪製），風場南側較北側大，東側較西側大。颱風為一暖氣團，與西南季風相比，氣溫較高但溫差並不明顯。850hPa 輻合帶普遍位在海平面輻合帶的更西南邊，但有時北風溫度相對較低，850hPa 輻合帶反而較海平面輻合帶更偏北。



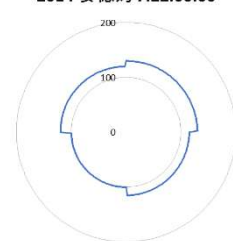
### 2014.07.21.2100 中颱麥德姆 西南季風共伴

七級風 13.9 m/s    八級風 17.2 m/s    九級風 20.8 m/s    十級風 24.5 m/s



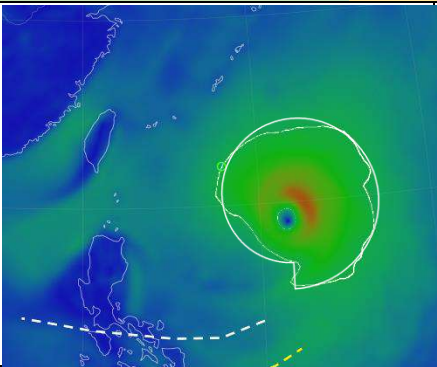
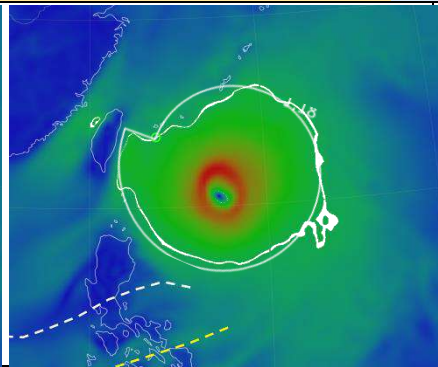
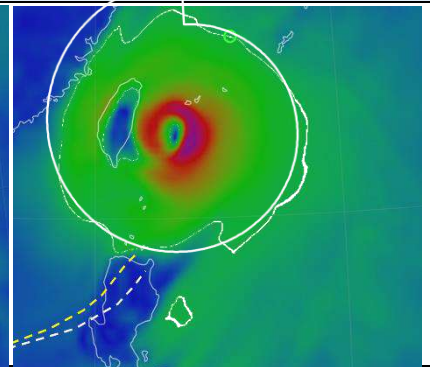
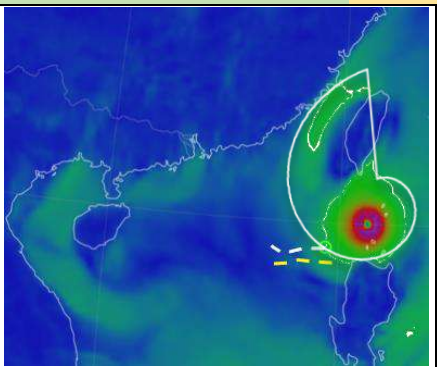
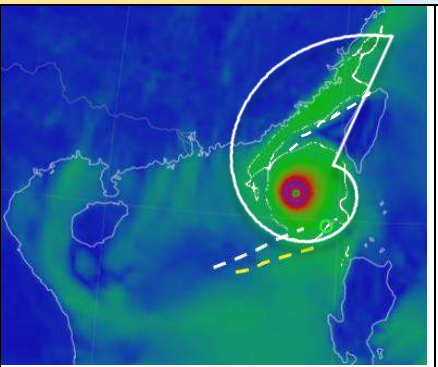
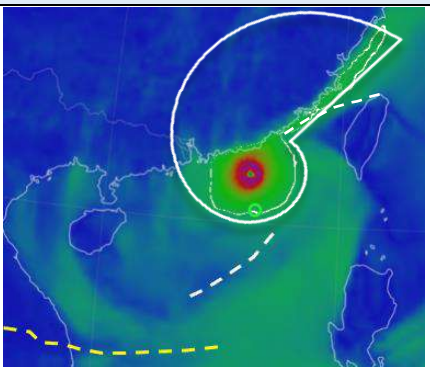
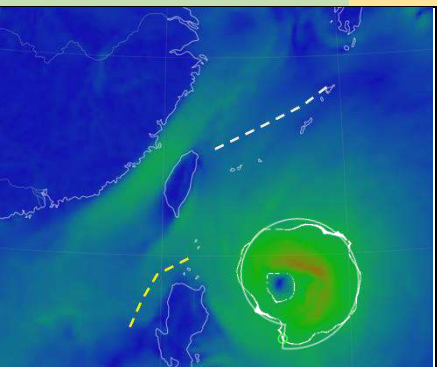
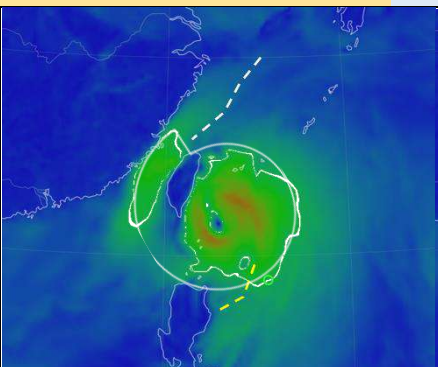
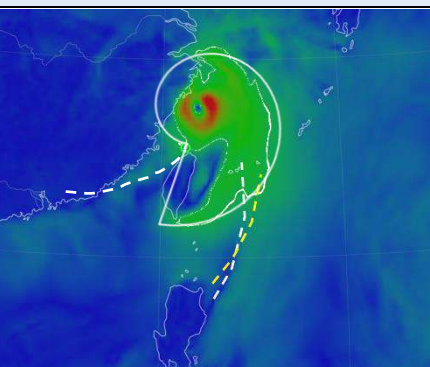
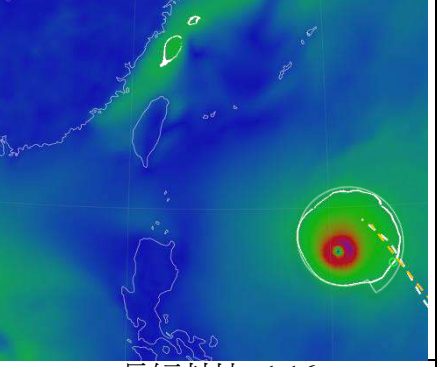
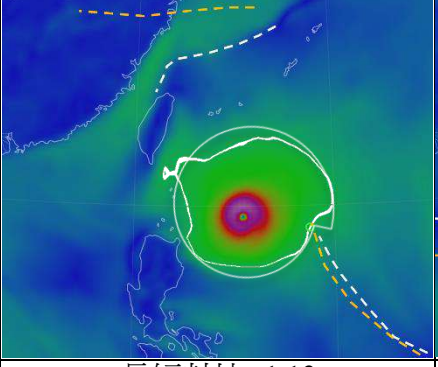
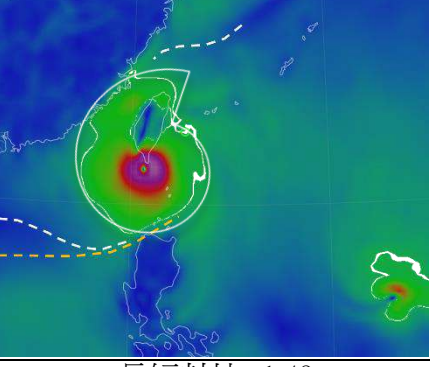
JTWC 暴風圈(34kts)

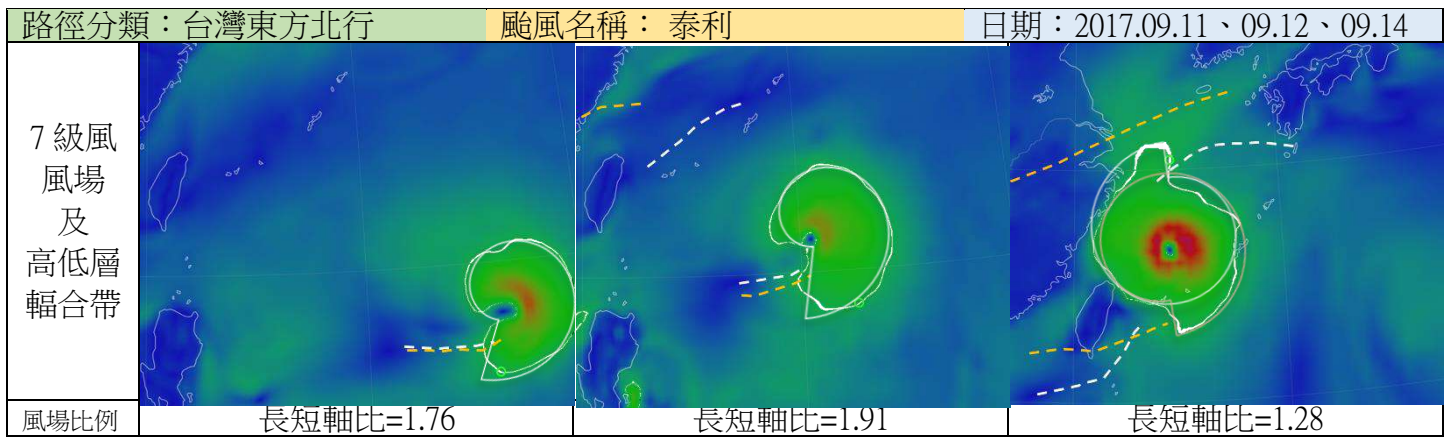
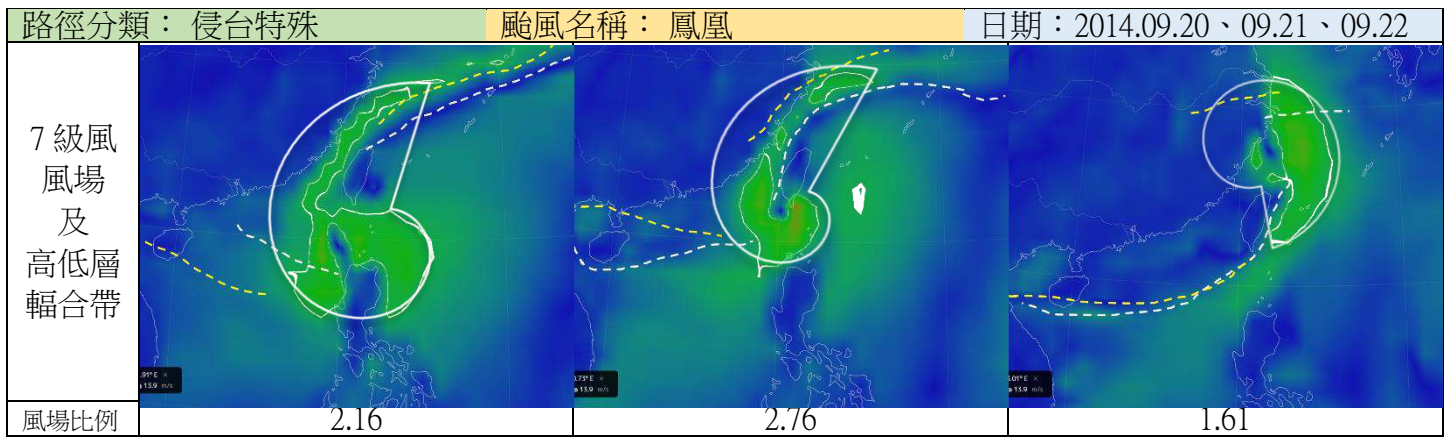
2014 麥德姆 7.22.00.00



我們發現：取樣風速越弱（如美、日），受季風影響越大也越不對稱（西南季風風速約 7-10 m/s）；取樣風速越強（如台灣 CWA），越靠近風場中心，受季風影響越小，也越趨於圓形。（原始資料來源：Earth Nullschool 網站；JTWC 網站；等風速圈、螺旋風場為作者自行繪製）

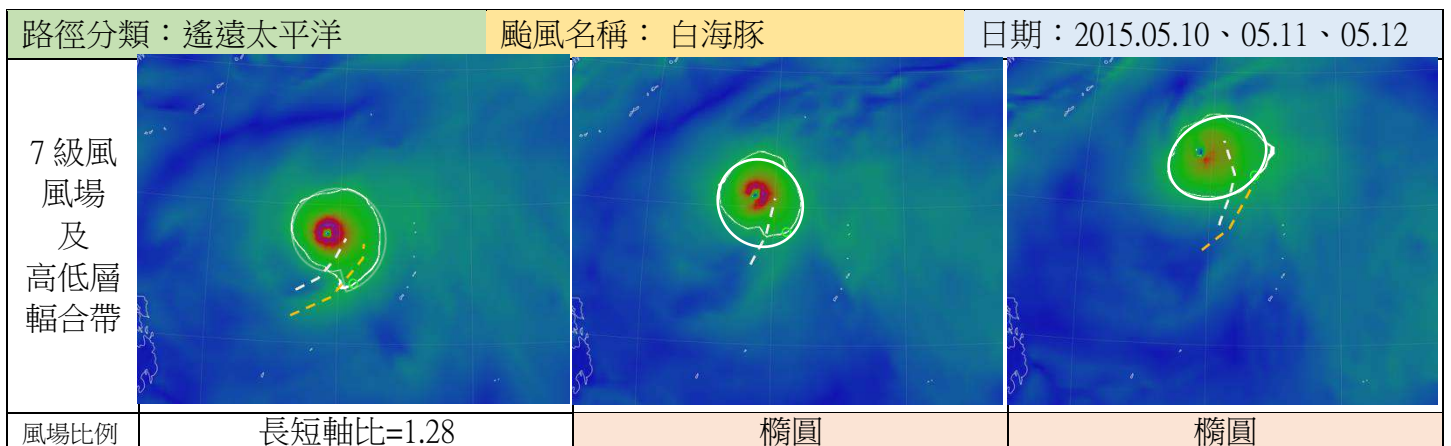
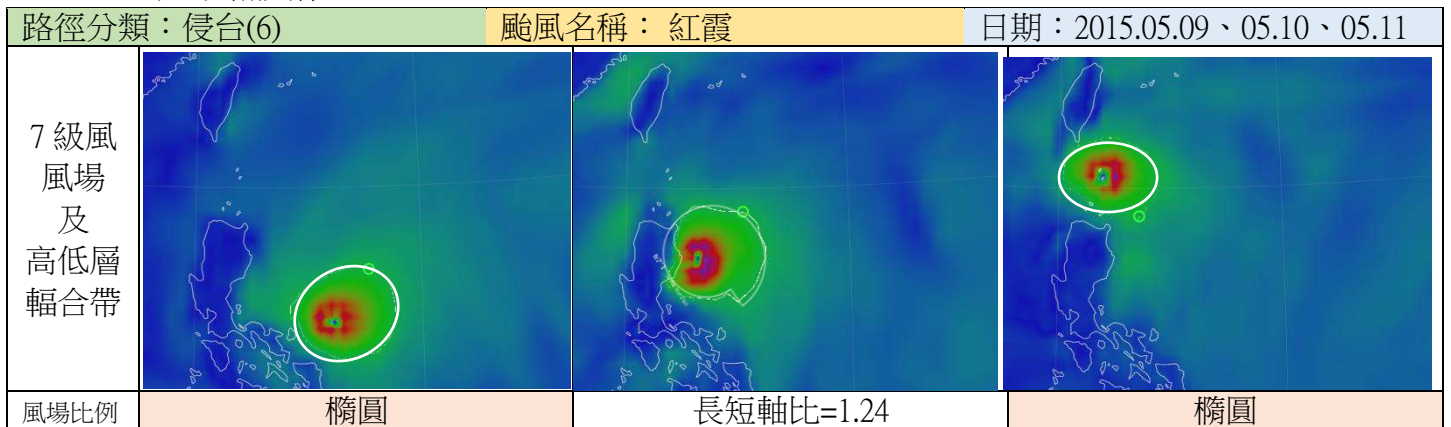
(三) 東北與西南季風均共伴

路徑分類：侵台(3)		颱風名稱：梅姬		日期：2016.09.25、09.26、09.27	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶					
	風場比例	長短軸比=1.18	長短軸比=1.18	長短軸比=1.21	
路徑分類：侵台(5)		颱風名稱：蘇拉		日期：2023.08.30、08.31、09.01	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶					
	風場比例	長短軸比=2.44	長短軸比=2.70	長短軸比=2.44	
路徑分類：侵台(6)		颱風名稱：米塔		日期：2019.09.29、09.30、10.01	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶					
	風場比例	長短軸比=1.22	長短軸比=1.21	長短軸比=1.90	
路徑分類：侵台(7)		颱風名稱：莫蘭蒂		日期：2016.09.12、09.13、09.14	
7 級風 風場 及 高低層 輻合帶					
	風場比例	長短軸比=1.16	長短軸比=1.12	長短軸比=1.49	



我們發現：東北與西南季風均共伴的颱風風場會隨其位置、或季風強度改變而發生「6」或「9」字形等變化，且可能出現 2 條輻合帶，分別位於北側及西南側。

(四) 無共伴

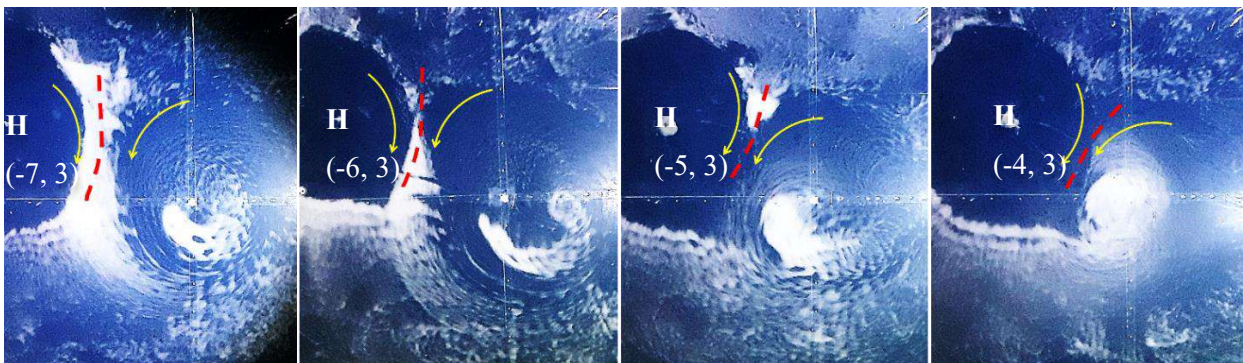


路徑分類：台灣東方北行		颱風名稱：海神		日期：2020.09.03、09.04、09.05	
7級風風場及高低層輻合帶					
風場比例	長短軸比=1.18	橢圓	橢圓		
路徑分類：台灣東方北行		颱風名稱：蒲公英		日期：2021.09.27、09.28、09.29	
7級風風場及高低層輻合帶					
風場比例	橢圓	橢圓	橢圓		

我們發現：無共伴颱風風場常呈橢圓形。

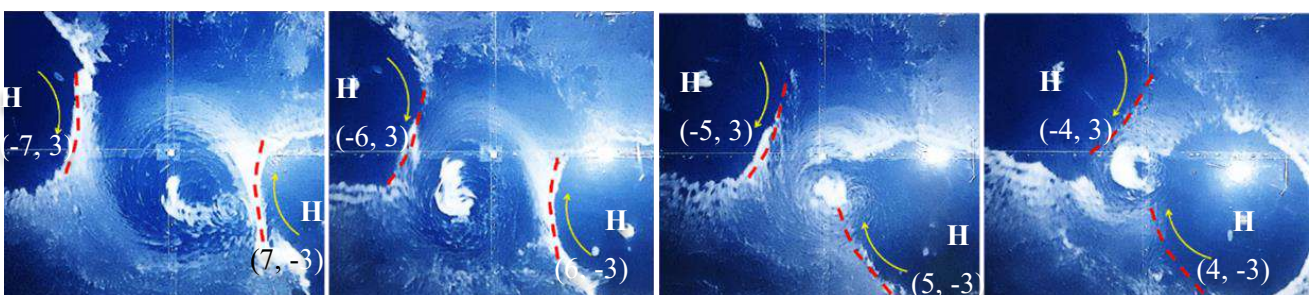
### 三、與季風共伴的颱風水流場模擬（模擬輻合帶變化）（以下水流場實驗為作者自行拍攝）

#### （一） 模擬單側季風共伴



我們發現：利用水流場模擬單側季風共伴，季風與颱風氣流夾角改變，輻合帶的斜率及位置也會有垂直或水平的變化。

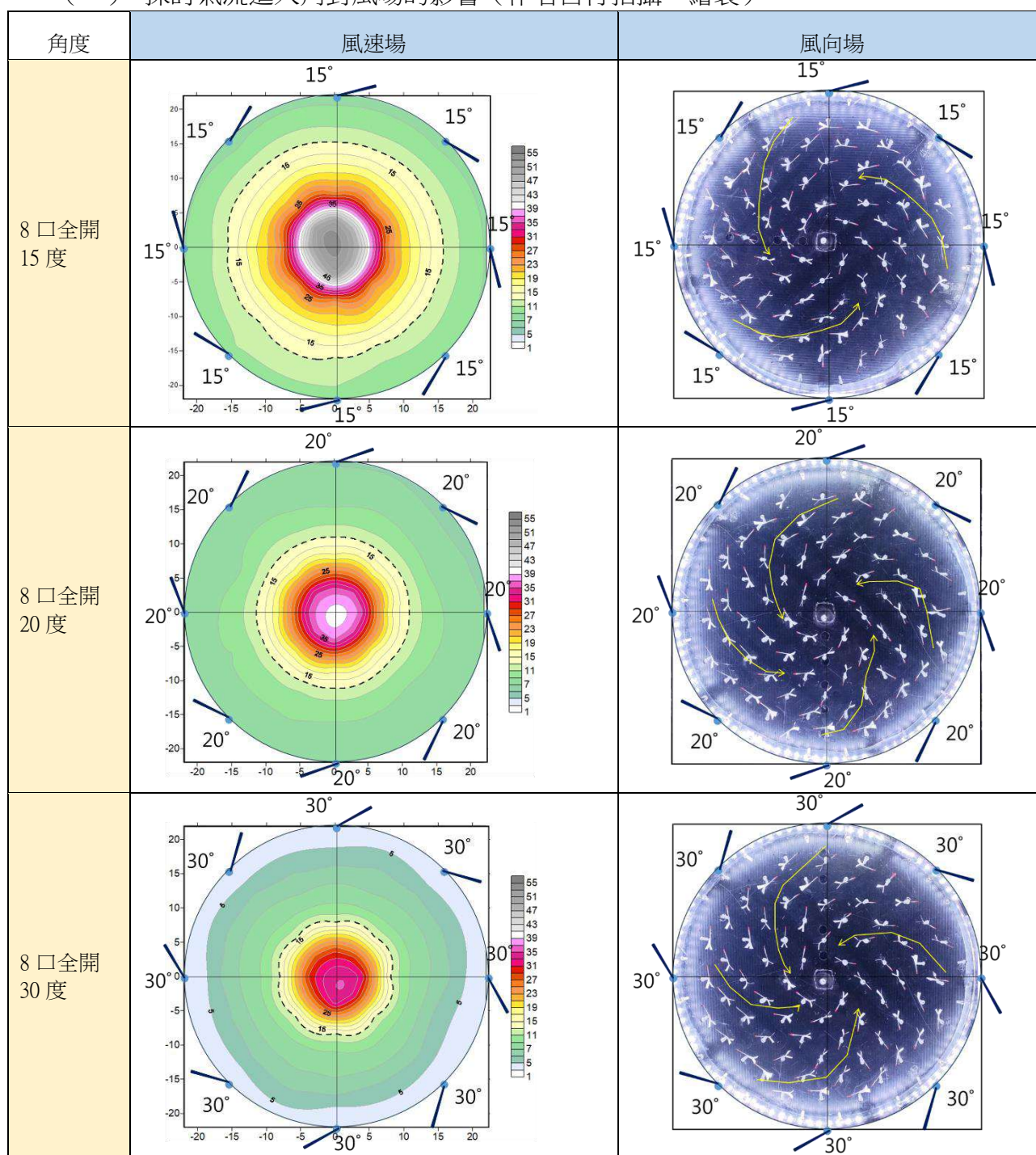
#### （二） 模擬雙側季風共伴



我們發現：利用水流場模擬雙側季風共伴，季風與颱風氣流夾角改變，兩條輻合帶的斜率及位置也發生變化。

#### 四、與季風共伴的颱風氣流分析與風場模擬（模擬風速場、風向場與輻合帶位置）

##### （一） 探討氣流進入角對風場的影響（作者自行拍攝、繪製）

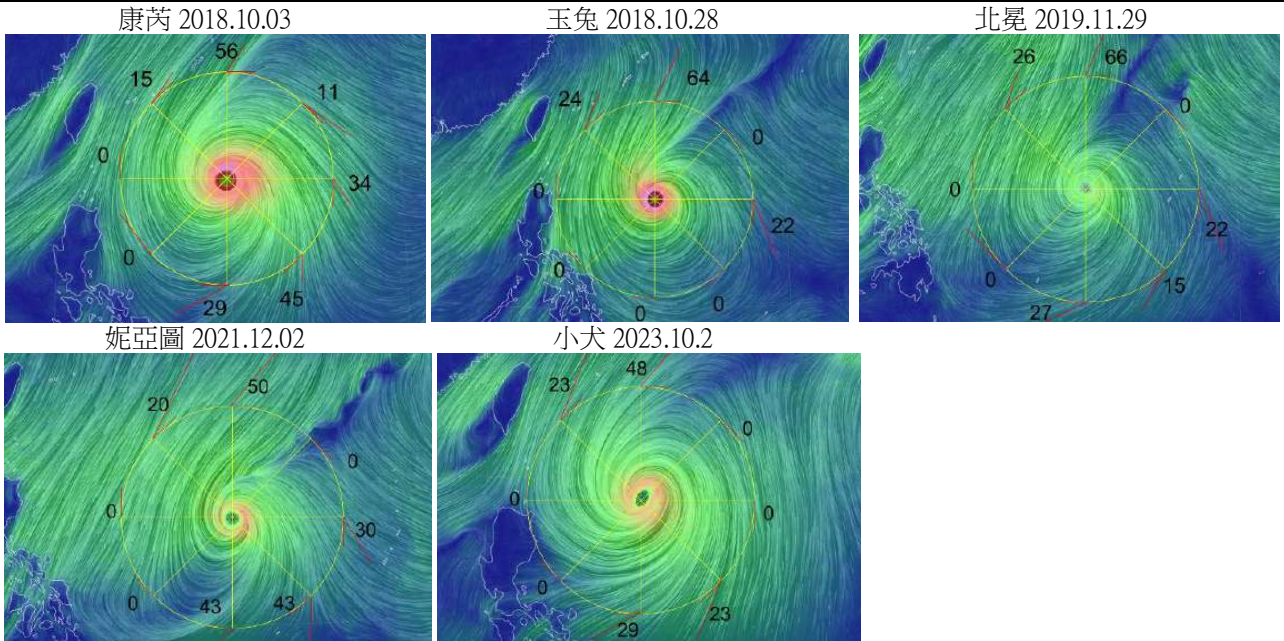


我們發現：氣流進入角越小，風場範圍愈大，風速也愈強。

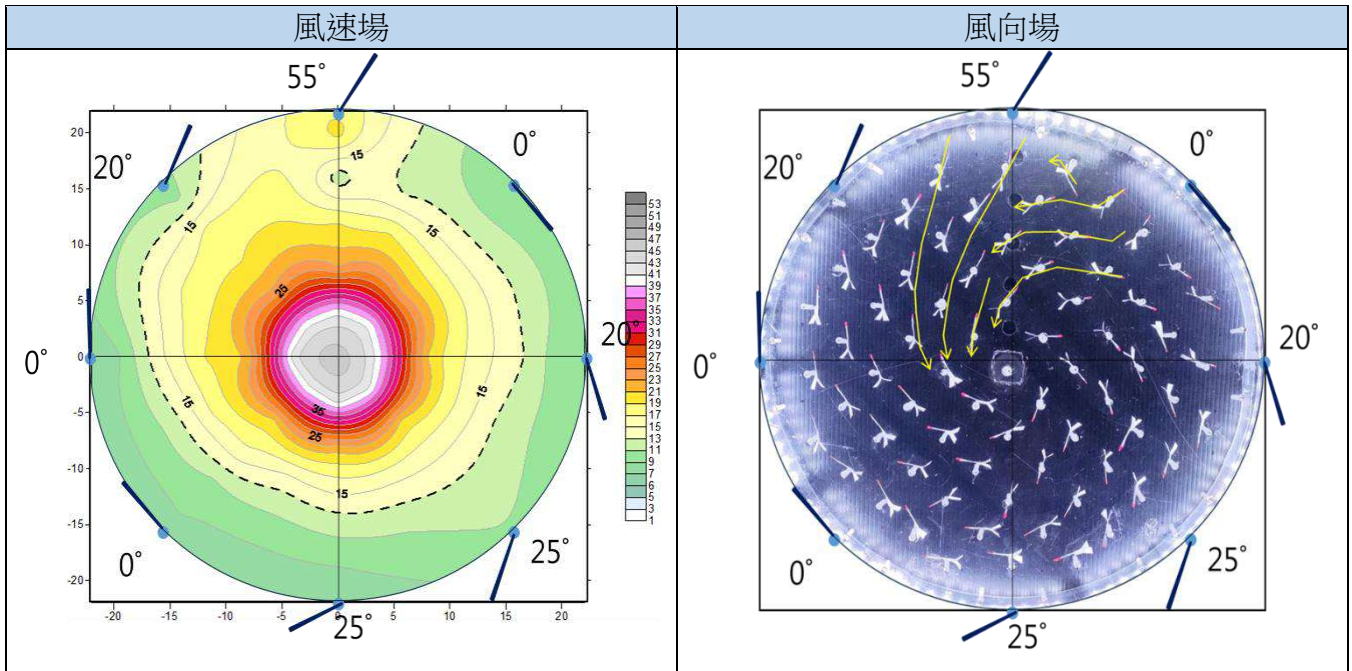
(二) 東北季風共伴案例 (以下資料分析及風場圖自 Earth Nullschool 網站)

1. 實際案例之颱風八個方位氣流進入角分析

颱風名稱/時間	東方 (1)	東北 (2)	北 (3)	西北 (4)	西 (5)	西南 (6)	南 (7)	東南 (8)
康芮 2018.10.03	34	11	56	15	0	0	29	45
玉兔 2018.10.28	22	0	64	24	0	0	0	0
北冕 2019.11.29	22	0	66	26	0	0	27	15
妮亞圖 2021.12.02	30	0	50	20	0	0	43	43
小犬 2023.10.2	0	0	48	23	0	0	29	23
平均	21.6	2.2	56.8	21.6	0.0	0.0	25.6	25.2



2. 氣流場模擬 (作者自行拍攝、繪製)

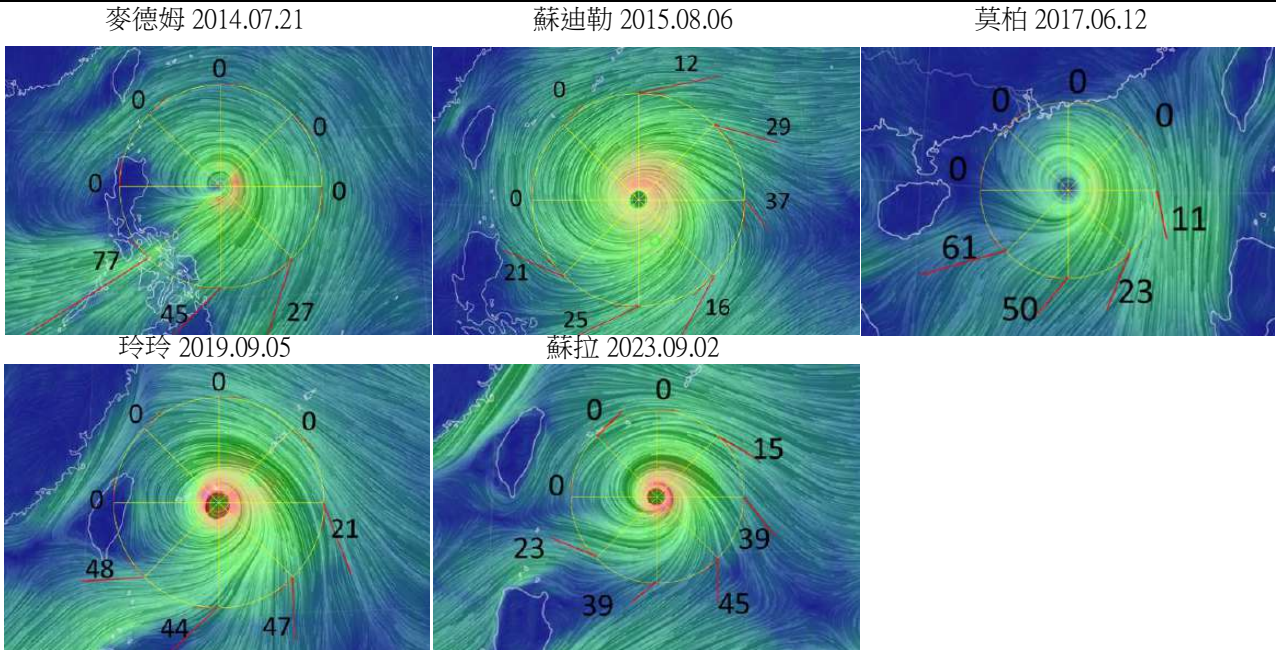


我們發現：利用實際案例的七級風範圍氣流進入角模擬東北季風共伴的颱風，風速場呈「6」字形，風向場輻合帶位於颱風中心的北側，與實際情形相似。

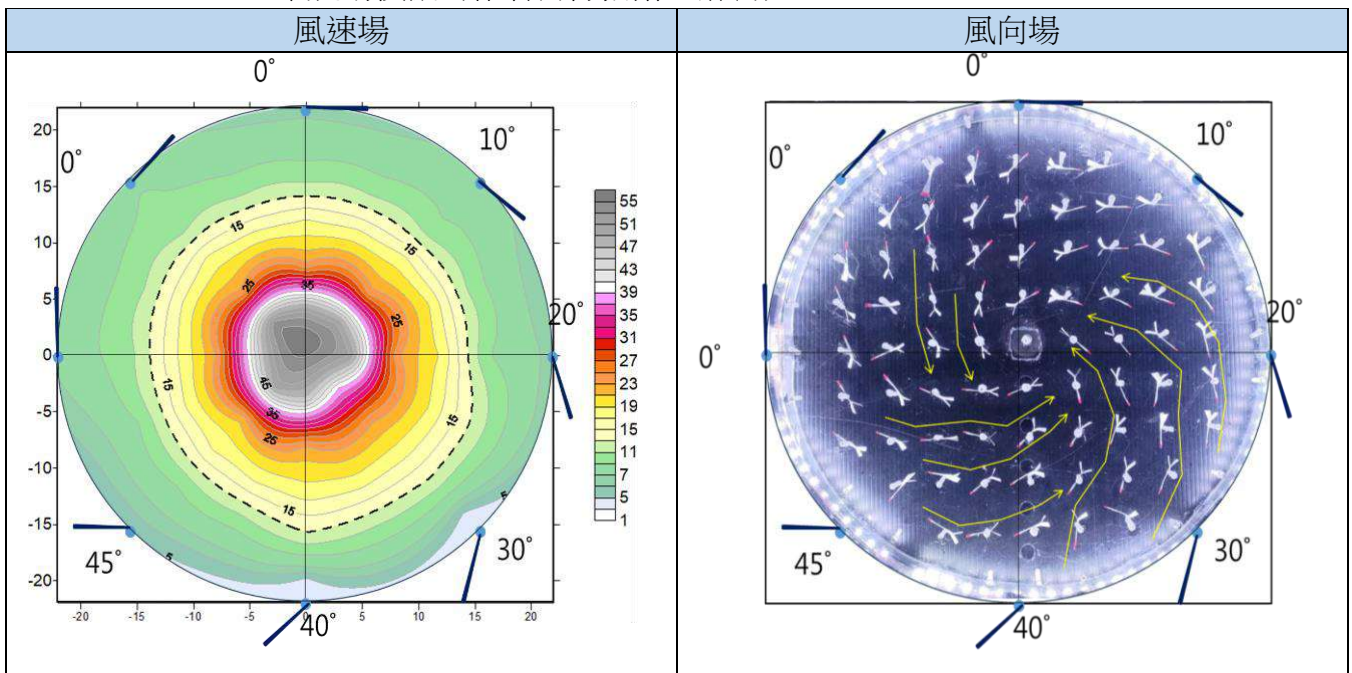
(三) 西南季風共伴案例（以下資料分析及風場圖自 Earth Nullschool 網站）

1. 實際案例之颱風八個方位氣流進入角分析

颱風名稱/時間	東方 (1)	東北 (2)	北 (3)	西北 (4)	西 (5)	西南 (6)	南 (7)	東南 (8)
麥德姆 2014.07.21	0	0	0	0	0	77	45	27
蘇迪勒 2015.08.06	37	29	12	0	0	21	25	16
莫柏 2017.06.12	11	0	0	0	0	61	50	23
玲玲 2019.09.05	21	0	0	0	0	48	44	47
蘇拉 2023.09.02	39	15	0	0	0	23	39	45
平均	21.6	8.8	2.4	0.0	0.0	46.0	40.6	31.6



2. 氣流場模擬（作者自行拍攝、繪製）



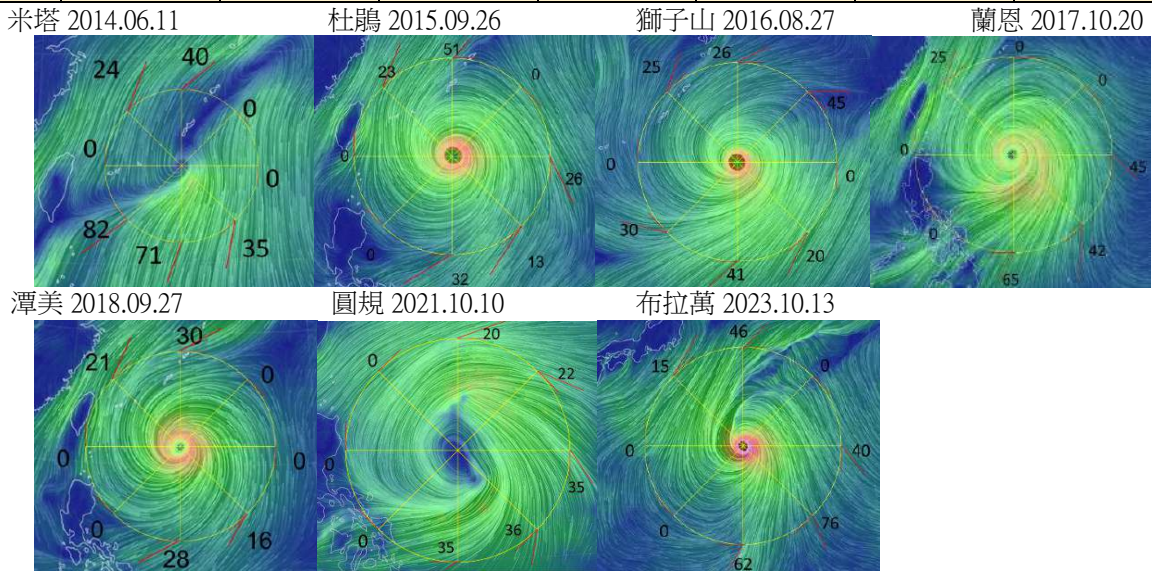
我們發現：利用實際案例的七級風範圍氣流進入角模擬西南季風共伴的颱風，風速場呈東南側大，風向場輻合帶位於颱風中心的南側，與實際情形相似。



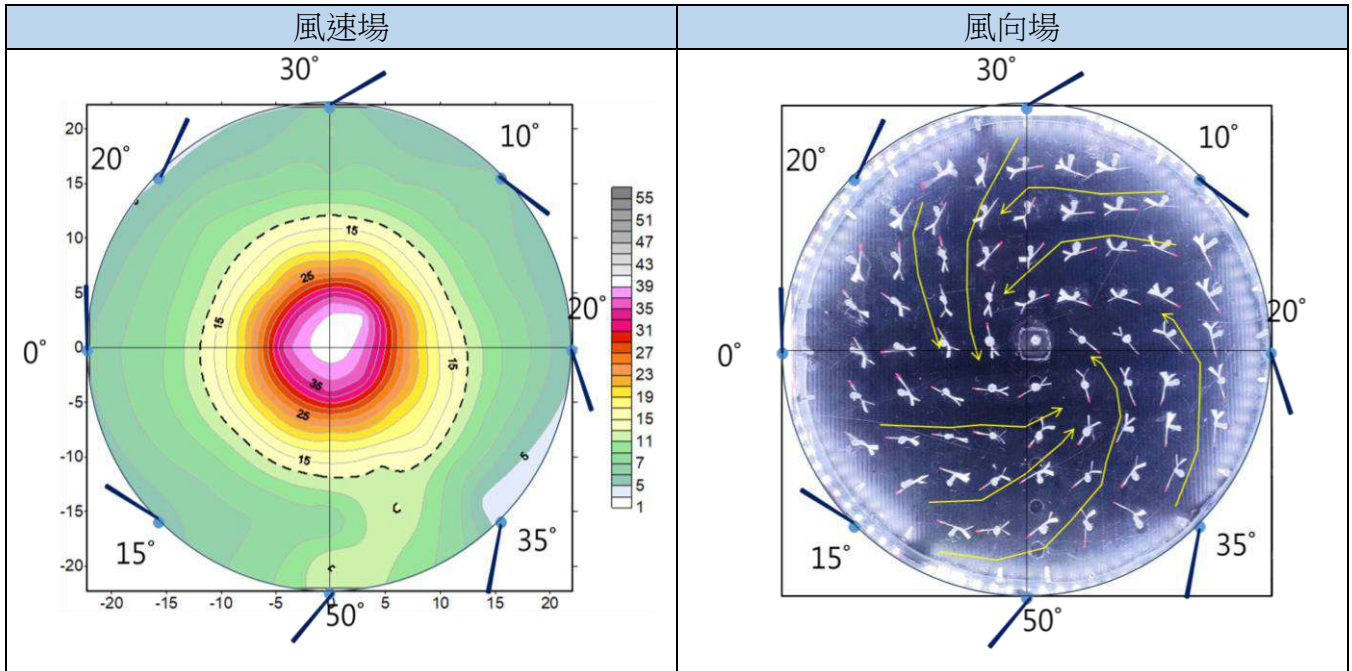
(四) 東北、西南季風均共伴案例 (以下資料分析及風場圖自 Earth Nullschool 網站)

1. 實際案例之颱風八個方位氣流進入角分析

颱風名稱/時間	東方 (1)	東北 (2)	北 (3)	西北 (4)	西 (5)	西南 (6)	南 (7)	東南 (8)
米塔 2014.06.11	0	0	40	24	0	82	71	35
杜鵑 2015.09.26	26	0	51	23	0	0	32	13
獅子山 2016.08.27	0	45	26	25	0	30	41	20
蘭恩 2017.10.20	45	0	0	25	0	0	65	45
潭美 2018.09.27	0	0	30	21	0	0	28	16
圓規 2021.10.10	35	22	20	0	0	0	35	36
布拉萬 2023.10.13	40	0	46	15	0	0	62	76
平均	20.9	9.6	30.4	19.0	0.0	16.0	47.7	34.4



2. 氣流場模擬 (作者自行拍攝、繪製)



我們發現：利用實際案例的七級風範圍氣流進入角模擬東北與西南季風均共伴的颱風，風速場亦不對稱，風向場輻合帶位於颱風中心的北側及南側，與實際情形相似。

## 陸、討論

颱風是東亞地區常見的天災，中心持續風速達每秒 17.2 公尺或以上，形成颱風。常帶來強烈降雨，造成不容小覷的經濟損失。我們從去年侵台的小犬颱風觀察到，當颱風即將登陸台灣時，暴風範圍外的澎湖和北部地區卻颳起強烈的東北風，讓我們提出一個假設：颱風似乎不是正圓形，且季風可能對颱風風場造成影響。

### （一）各國氣象預報差異：

學界普遍認同颱風的不對稱性，中央氣象署（CWA）以颱風四個象限平均半徑作為暴風圈定義，以正圓形描繪颱風風場，另有註明各象限風場；日本氣象廳（JMA）則直接在圖形上呈現橢圓不對稱；美軍的 JTWC 則將暴風圈分為四個象限，給予獨立的暴風半徑。顯示各國颱風預報都有考量到季風和地形所造成風場不對稱，我們希望深入瞭解「季風」與「颱風」間的交互影響，定義出符合實際狀況的颱風暴風圈描述方式。

### （二）颱風分析：

我們先列出 2013 年到 2023 年間，所有可以在「維基百科」上找到颱風起訖日期及強度資料，並將有命名的颱風按路徑分為（1）中央氣象署所定義的 9 種侵台颱風；（2）台灣東方北行；（3）靠近或穿越菲律賓；（4）遙遠太平洋；（5）南海，五種路徑分類。強度部分則依照中央氣象署劃分的輕度（十分鐘平均中心風速達每秒 17.2 公尺至每秒 32.6 公尺之間）、中度（十分鐘平均風速達每秒 32.7 公尺至每秒 50.9 公尺）與強烈颱風（十分鐘風速達每秒 51 公尺或以上）。

我們也借助「Earth Nullschool」及「大氣科學研究與應用資料庫」網站相互對比，將颱風分類成（1）東北季風共伴；（2）西南季風共伴；（3）東北與西南季風均共伴；（4）無共伴，我們發現：有西南季風共伴的颱風約佔颱風總數的 38%、東北季風共伴颱風約 23%、東北與西南季風均共伴約 23%；無共伴僅 16%，顯示東亞地區的季風氣候特徵使颱風大多會與季風發生共伴。

### （三）颱風與季風的輻合：

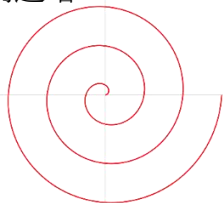
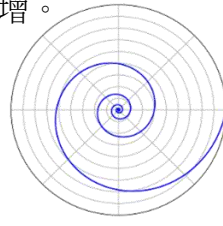
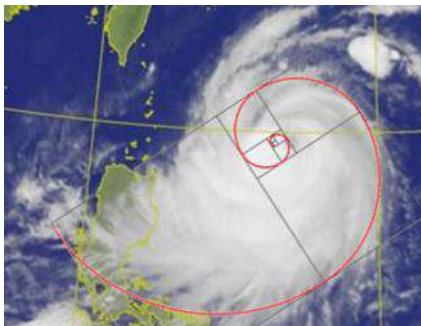
颱風常受季風共伴影響並造成風場形狀改變，且颱風本身的氣流與季風因氣團溫差會產生輻合帶，此種因兩股不同方向或性質的氣流輻合稱為切變式輻合，有時會互相抬升帶來強

烈的降雨，對比海平面輻合帶與 850hPa 輻合帶後，發現出現類似鋒面垂直邊界傾斜的現象。在過去科展作品「「梅」來演趣（劉士寬等，2022）」中提到：梅雨期間的滯留鋒是冷空氣與暖空氣對撞形成，而「颱風與季風共伴之環境場研究（艾寧靜，2014）」中提到：東北共伴之颱風冷暖區分布，颱風北側為冷區，南側為暖區；西南共伴之颱風冷暖區分布則與東北共伴相反，北部為暖區，南部為冷區。

#### （四）新暴風圈定義方式—等角螺線：

在「颱風選美三類型大PK（林偉文，2016）」報導中提到，颱風的雲是以螺旋方式向外延伸，分成「6」、「9」、「0」三種雲型，我們假設：**颱風的風場是否也以螺旋方式呈現呢？**我們利用「Earth Nullschool」觀察颱風風場發現，有些颱風風場有「圓形」、「6」、「∞」、或「9」等形狀。由於東亞地區夏季的天氣型態主要受到西南季風影響，入秋後環境風場逐漸轉為東北季風（洪致文等，2022），我們發現發展成熟的颱風（中度以上強度）與季風共伴常有螺旋風場；「6」字形颱風多受東北季風共伴影響，發生在9月~翌年2月；「9」字形颱風多受西南季風影響，多發生在6~8月。東北與西南季風均共伴的颱風風場會隨其位置、季風影響程度改變而發生「6」或「9」字形等變化，且可能出現2條輻合帶，分別位於北側及西南側。

但「6」或「9」並非容易描述的形狀，所以我們希望可以找到數學幾何圖形的方式定義受季風共伴的颱風暴風圈。我們查詢了各種螺旋形，發現「等速螺線」（又稱阿基米德螺線）以**等差數列**方式向外擴展畫成的螺旋；「等角螺線」以**等比數列**方式向外擴展畫成的螺旋。我們知道自然界有許多現象以「等角螺線」呈現，例如銀河、鸚鵡螺等，颱風亦是。所以我們使用 Excel 繪製等角螺線，並嘗試把圖片疊加在實際颱風七、八級風風場圖時，發現兩者非常相近，因此可推論**使用等角螺線繪製方式，能更加符合實際颱風風場變化與形狀。**

<p>等速螺線又叫阿基米德螺線，旋臂的距離以等差數列遞增。</p> 	<p>等角螺線又叫笛卡兒螺線，旋臂的距離以等比數列遞增。</p> 	<p><b>本研究認為颱風的風場比較接近等角螺線。</b></p> 
<p>以上圖自維基百科，由作者改繪</p>		

東亞地區屬於季風氣候帶，我們可以以等角螺線描述許多受季風共伴的颱風，我們也發現，無共伴的颱風風場多為橢圓形，颱風行進方向的右前方是強風區，左方為弱風區，此結果與 Shea, J. & Gray, M. (1973) 的報導類似。因為該文獻作者分析的是大西洋的颶風案例，而該地區不像東亞地區有強盛的季風共伴。

我們想要在實驗室中模擬出輻合帶，但查閱了前人文獻，發現未曾有人實驗模擬出輻合帶，這讓我們好奇，希望設計出模擬輻合帶的實驗，我們想到氣流和水流兩種方式：

#### (五) 水流場模擬裝置：

在水流場實驗首先遇到的問題是介質選擇，太輕的介質讓水混濁，太重又攪不動，我們最後決定使用一號石英砂。再來是高壓（季風）與低壓（颱風）模擬裝置，我們設計了深入水槽底部的十字攪拌裝置，搭配電動起子順時針旋轉帶動水流向外旋出，並設計在水面攪拌的低壓模擬裝置，可以使底層水流逆時針向內旋入。

我們發現：若模擬的季風若是離颱風太遠，輻合帶不明顯；若季風太靠近颱風，颱風漩渦結構會被破壞；最後決定將高壓裝置放在座標  $(-7, 3) \sim (-4, 3)$ ，低壓裝置放在  $(0, 0)$  模擬；我們發現：單側季風共伴，隨著季風位置靠近颱風，輻合帶由垂直趨向水平。雙側季風共伴的颱風則出現兩條輻合帶，此結果與實際狀況相同。

#### (六) 氣流場模擬裝置：

雖然使用水流場可成功模擬出輻合帶，但是水流場裝置無法測量流速。於是我們參考前人科展作品「旋風登台，引領流型—探討西行侵台颱風之流型變化與實驗模擬（黃玉涵、江妍慈，2024）」研發的氣流場裝置加以改良，使密合度更佳、使入風口角度可調整，用來模擬不同條件下的颱風風場變化，再以熱線式風速計測量風速資料並繪製等值線圖；並在裝置內部裝設微型風標，觀測風向場氣流流向及輻合帶位置。

我們分析實際颱風風場以及等壓線圖時，我們發現：颱風八個方向的入風角度並不相同，颱風等壓線圖也不對稱，等壓線愈密集，氣流進入角度愈大、風速也強；等壓線圖愈疏鬆處，氣流進入角度愈小，且有季風共伴的氣流進入角普遍較大，在此基礎上，我們希望發展出可調整風向的引流板。藉由調整入風口角度，可以模擬不同渦度的颱風的不對稱，甚至複雜的颱風環境風場。

我們發現：若八個入風口角度相同時（理想型颱風），氣流切入角度越小，風速越強；

角度越大，風速越弱。我們分析不同強度的颱風七級風八方位氣流進入角也發現，強烈颱風的平均氣流角度約為 $15^{\circ}$ ，且更圓也更對稱，中度、輕度颱風的平均氣流角度約為 $20^{\circ}$ ，也較不對稱。

模擬東北季風共伴時，我們分析了 5 個實際案例的八方位氣流進入角，發現北側、西北側的氣流進入角度通常較大，再以本氣流場進行實驗模擬，發現入風口角度大的一側風速比角度小的快，且出現類似實際案例的「6」字形風場；而風向場實驗也獲得輻合帶在北側的結果。

模擬西南季風共伴時，我們分析了 5 個實際案例的八方位氣流進入角，發現西南側、南側、東南側的氣流進入角度通常較大，再以本氣流場進行實驗模擬，發現強風區被往北帶，風場南>北，東>西，輻合帶在西南側。

模擬東北季風和西南季風皆共伴時，我們分析了 7 個實際案例的八方位氣流進入角，發現南側、北側都有氣流進入角大的區域，再以本氣流場進行實驗模擬，發現南側、北側都有強風區及輻合帶，但實際案例的東北風與西南風強度都不同，建議各個案例分開模擬。

## 柒、 結論

1. 為了解季風對颱風風場之影響，本研究選取自 2013~2023 年間所有颱風。分析其路徑、風場、輻合帶等，並設計水流場與氣流場模擬實驗，進行輻合帶與風場不對稱的模擬。

2. 颱風路徑比例

	台灣東方北行	靠近或穿越菲律賓	侵台	南海	遙遠太平洋
占比	24.4%	23.7%	14.0%	13.3%	24.4%
月份	6~10	7~12	6~11	7~9	4、7~11

3. 颱風強度比例

強度	輕度	中度	強烈
占比	50.9%	31.2%	17.9%

4. 據中央氣象署統計，台灣一年受到 7 個月東北季風（10~翌年 4 月）及 3 個月西南季風（6~8 月）的影響。與季風共伴的颱風案例數如下：

颱風共伴種類	東北季風共伴	西南季風共伴	東北及西南季風共伴	無共伴
占比	22.6%	38.4%	23.3%	15.8%
月份	9 月~翌年 2 月	6~8 月	8~10 月	4~11 月

5. 東北季風共伴的颱風，呈「6」字等角螺線形；風場北大南小、西大東小；海平面輻合帶位於颱風的東北側，850 hPa 的輻合帶更偏北，輻合帶類似鋒面邊界層傾斜的現象。

6. 西南季風共伴的颱風，呈「9」字等角螺線形；風場呈南大北小、東大西小；海平面輻合帶位於颱風的西南側，850 hPa 輻合帶更偏南，輻合帶傾斜程度較不顯著。有時北風溫度較低，850hPa 輻合帶較海平面輻合帶更偏北。颱風位於台灣東～東北側，輻合帶會產生類似梅雨鋒面彎曲或斷裂的結構。
7. 東北與西南季風同時共伴時，通常東北季風因風速較強，影響較大。颱風在低緯度時主要受西南季風影響，隨著颱風北移，可能與東北季風產生更多互動；輻合帶方面，有時東北及西南側常各有一條，北側輻合帶延伸到較遠的地方。
8. 沒有東北季風與西南季風共伴的颱風，風場常無「6」或「9」的形狀，7 級風區域接近橢圓形，亦無明顯輻合帶。
9. 水流場利用高、低氣壓裝置模擬季風以及颱風。我們發現：
  - (一) 水流場模擬單側季風共伴，季風與颱風氣流夾角改變，輻合帶的斜率及位置也會有垂直或水平的變化。
  - (二) 利用水流場模擬雙側季風共伴，季風與颱風氣流夾角改變，兩條輻合帶的斜率及位置也發生變化。
10. 氣流場風場模擬裝置中，我們發現：
  - (一) 八入風口角度相同時，角度越小，風速越強且風場範圍越大，角度越大反之；若不同角度的入風口同時存在，角度大的入風口風速較強。
  - (二) 因颱風及周圍等值線密集程度的不同，會造成環境風場改變。分析實際案例之七級風暴風圈最大範圍，並量出八方位實際氣流進入角度，搭配本氣流場裝置模擬，繪出等值線圖，發現與實際颱風風場具相似的結果。
  - (三) 東北季風共伴的颱風，北側氣流進入角較大。風速場呈「6」字形；風向場輻合帶位於颱風中心的北側，與實際情形相似。
  - (四) 西南季風共伴的颱風，南側氣流進入角較大。風速場呈東南側大；風向場輻合帶位於颱風中心的南側，與實際情形相似。
  - (五) 東北與西南季風均共伴的颱風，北側和南側各有一大角度的氣流進入角。風速場亦不對稱；風向場輻合帶位於颱風中心的北側及南側，與實際情形相似。

## 捌、參考資料及其他

1. 視覺化數值預報網站 Earth Nullschool <https://earth.nullschool.net/>
2. 中央氣象署颱風資料庫 [https://rdc28.cwa.gov.tw/TDB/public/warning\\_typhoon\\_list/](https://rdc28.cwa.gov.tw/TDB/public/warning_typhoon_list/)
3. 大氣科學研究與應用資料庫 <https://asrad.pccu.edu.tw/dbar/>
4. 國立自然科學博物館 <https://www.nmns.edu.tw/>
5. 維基百科 <https://zh.wikipedia.org/>
6. 聯合颱風警報中心 <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/jtwc.html>
7. 日本氣象廳 <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>
8. 中央氣象署數位科普網。隨季節變換的風—季風。  
<https://edu.cwa.gov.tw/PopularScience/index.php/weather/104-%E9%9A%A8%E5%AD%A3%E7%AF%80%E8%AE%8A%E6%8F%9B%E7%9A%84%E9%A2%A8%E2%80%94%E5%AD%A3%E9%A2%A8>
9. 艾寧靜（2014）。颱風與季風共伴之環境場研究。中華防災學刊：6(2)，247-253。
10. 洪致文、施明甫（2022）。以測站長期觀測數據分析之臺灣各季節降水垂直分布氣候特徵。大氣科學，51，1-27。
11. 劉士寬、高笛祐、徐巧瑄（2022）。「梅」來演趣-探討台灣梅雨季之大氣流型演變與模擬。第 62 屆全國科展國中組地球科學科。
12. 黃玉涵、江妍慈（2024）。旋風登台，引領流型—探討西行侵台颱風之流型變化與實驗模擬。2024 臺灣國際科展地球與環境科學科。
13. 莊詠軫、吳孟璟、余慧安（2018）。風度「偏偏」分析颱風風場的不對稱性及實驗模擬。第 58 屆全國中小學科展作品地球與行星科學科。
14. 蕭柏智、范傑翔、蔡帛原（2018）。Co-movement！秋颱共伴效應之深入探討。第 58 屆全國中小學科展作品地球與行星科學科。
15. 林偉文（2016）。颱風選美三類型大 PK。中學生報第 205 期。
16. 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】 030506

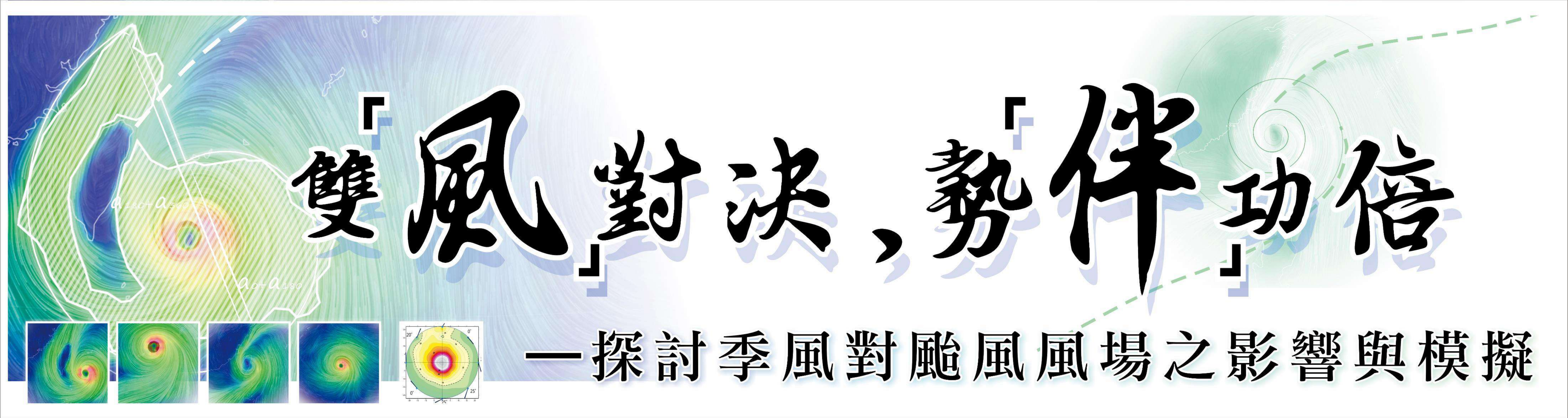
本研究以視覺化數值模擬網站圖像分析與季風共伴的颱風，提出新的暴風圈定義方法，具創意。本作品宜嘗試建立新方法應用的理論基礎論述，以增加作品深度。本研究為進一步強化所提出了論述，改良前人的颱風氣流與水流場模擬實驗，以強化颱風共伴季風的直觀印象。唯設計水流場模擬氣流場實驗已經過大量的簡化，邊界條件與縮減比例造成的差異宜說明並加以討論。



## 作品簡報

# 「雙風對決，勢伴功倍」

— 探討季風對颱風風場之影響與模擬



# 壹、研究動機

去年(2023)十月初侵襲台灣的「小犬颱風」令我們印象深刻，在颱風暴風圈尚未接觸台灣陸地前，各地便颳起強烈的東北風，特別是離暴風圈較遠的「澎湖、北部地區」一帶風速更為強勁，使我們想了解：  
**「季風」共伴對颱風風場會產生什麼影響？**

目前學界普遍認同颱風風場存在不對稱性，受季風、地形影響，各國會調整預報方法，但似乎都不易完整描述風場形狀。因此我們想到：  
**是否有其他「幾何形狀」可以更貼切描述颱風風場範圍？**

本研究以視覺化數值模擬網站<https://earth.nullschool.net/>分析與季風共伴的颱風之風場與輻合帶，期望提出新的暴風圈定義方法，並改良前人的颱風氣流與水流場模擬實驗，使研究更具直觀價值。

**中央氣象署CWA**  
暴風圈為**正圓**，颱風中心位在圓心，四象限附註說明。  
半徑為10分鐘平均風速達七級風的範圍，預報風場小。

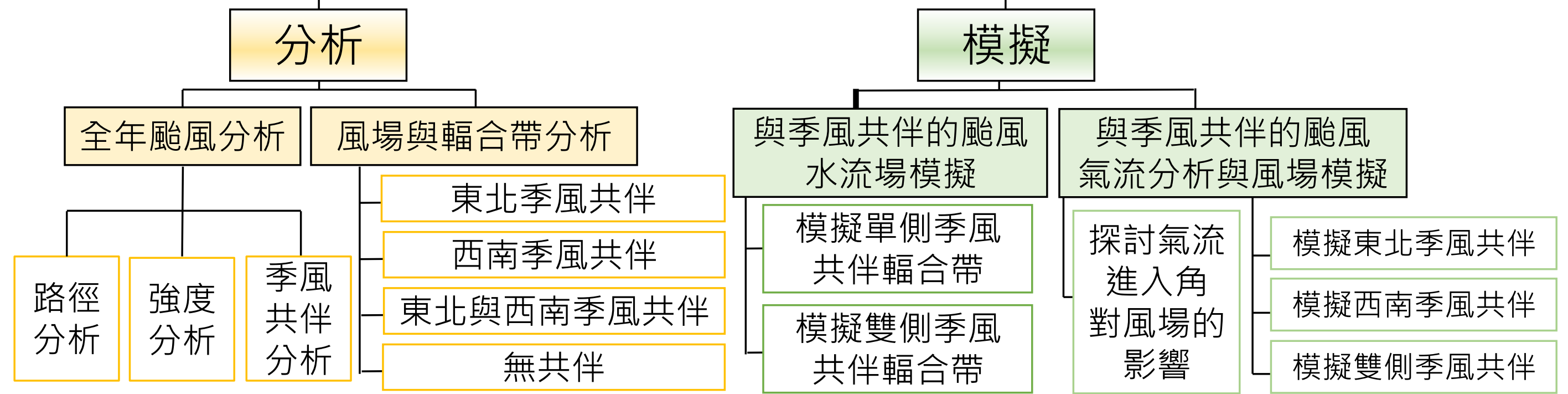
**聯合颱風預報中心JTWC**  
暴風圈分成**四個象限**，每個象限都給予不同半徑。  
使用1分鐘平均風速達到八級風的範圍，因此預報風場較大。

**日本氣象廳JMA**  
暴風圈為**正圓或橢圓**，有長短軸之分。颱風中心未必在圓心。  
半徑為「有可能」達到七級風的範圍，因此預報風場較大。

# 貳、研究目的

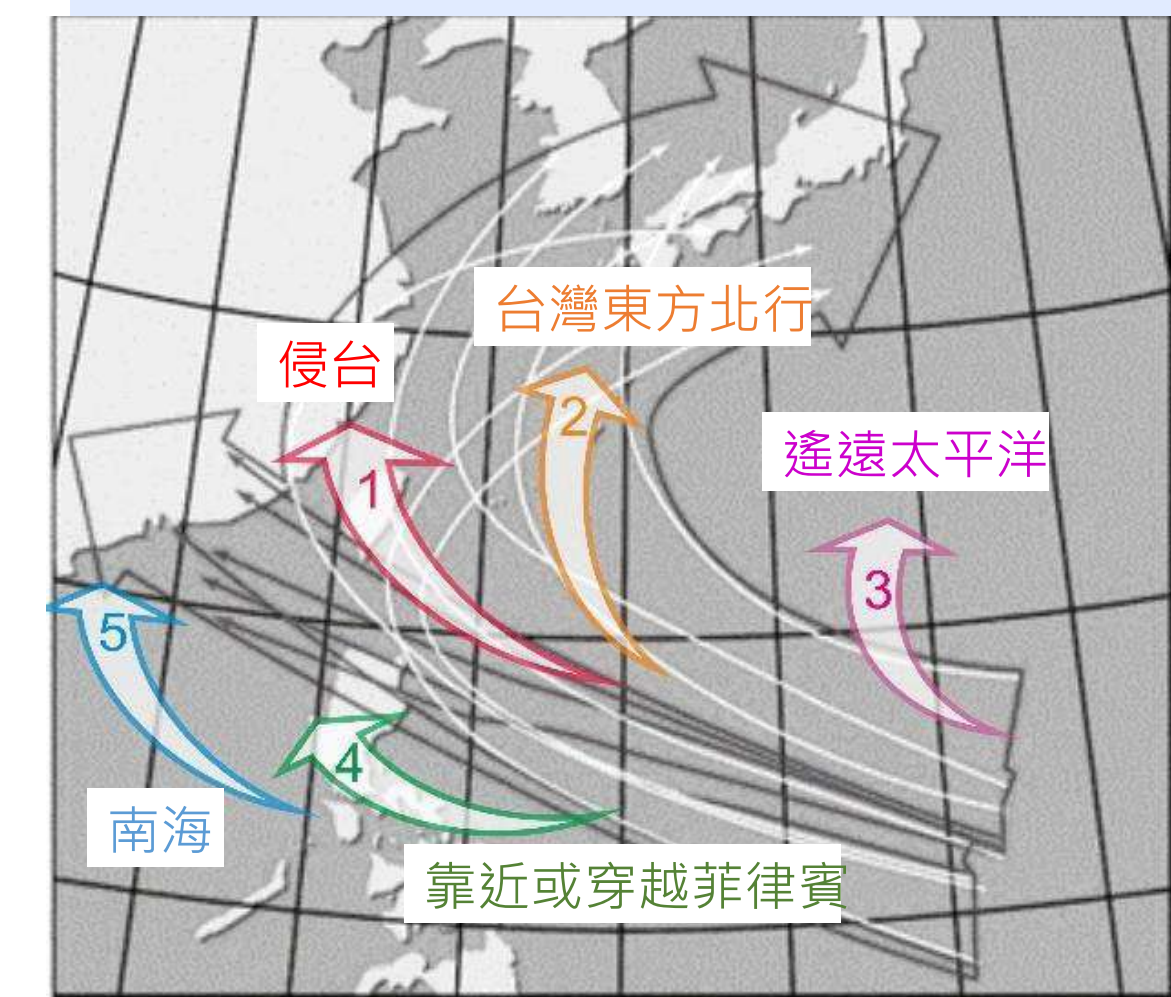
- 一、全年颱風分析
- 二、風場與輻合帶分析
- 三、與季風共伴的颱風水流場模擬
- 四、與季風共伴的颱風氣流分析與風場模擬

## 雙「風」對決，勢「伴」功倍 —探討季風對颱風風場之影響與模擬



# 參、研究過程與方法

## 一、颱風路徑分類



## 二、季風定義

**東北季風成因：**  
入秋後，大陸上出現冷高壓東移，帶來東北風。  
影響時間：每年10月開始至翌年4月結束，約7個月。

**西南季風成因：**  
索馬利亞噴流、印尼跨赤道氣流、副熱帶高壓邊緣氣流合流而成。  
影響時間：每年6-8月，約3個月。

## 三、Earth Nullschool歷史風場、等風速圖、輻合帶擷取

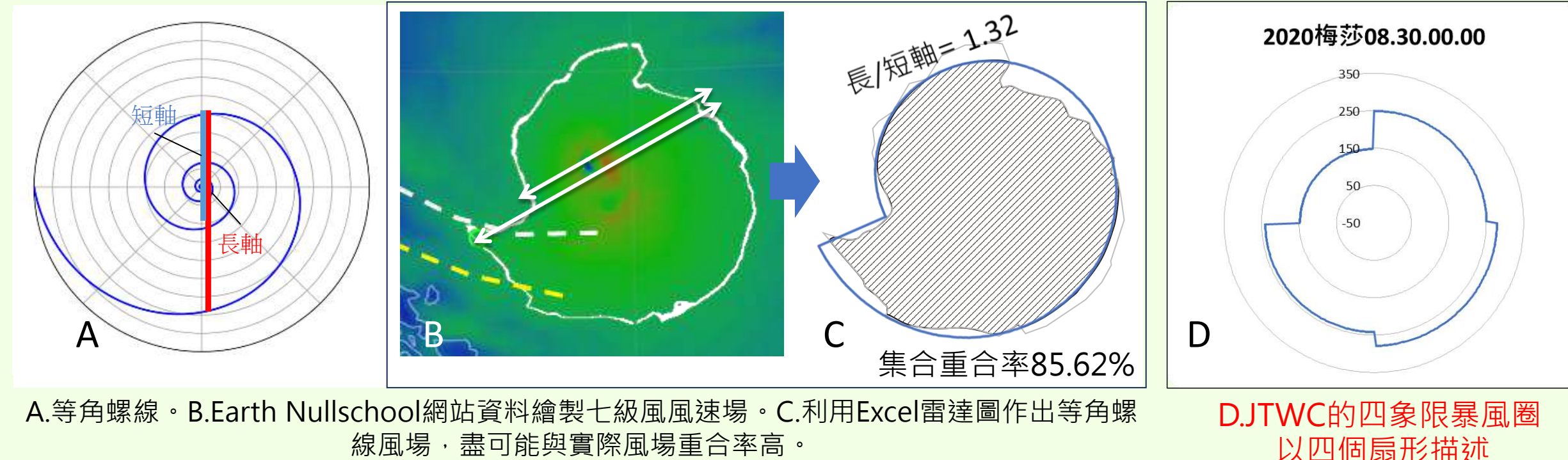
選定7級風(13.9m/s)範圍或其他風速

海平面風場(及輻合帶) → 850hPa風場(及輻合帶) → 疊圖

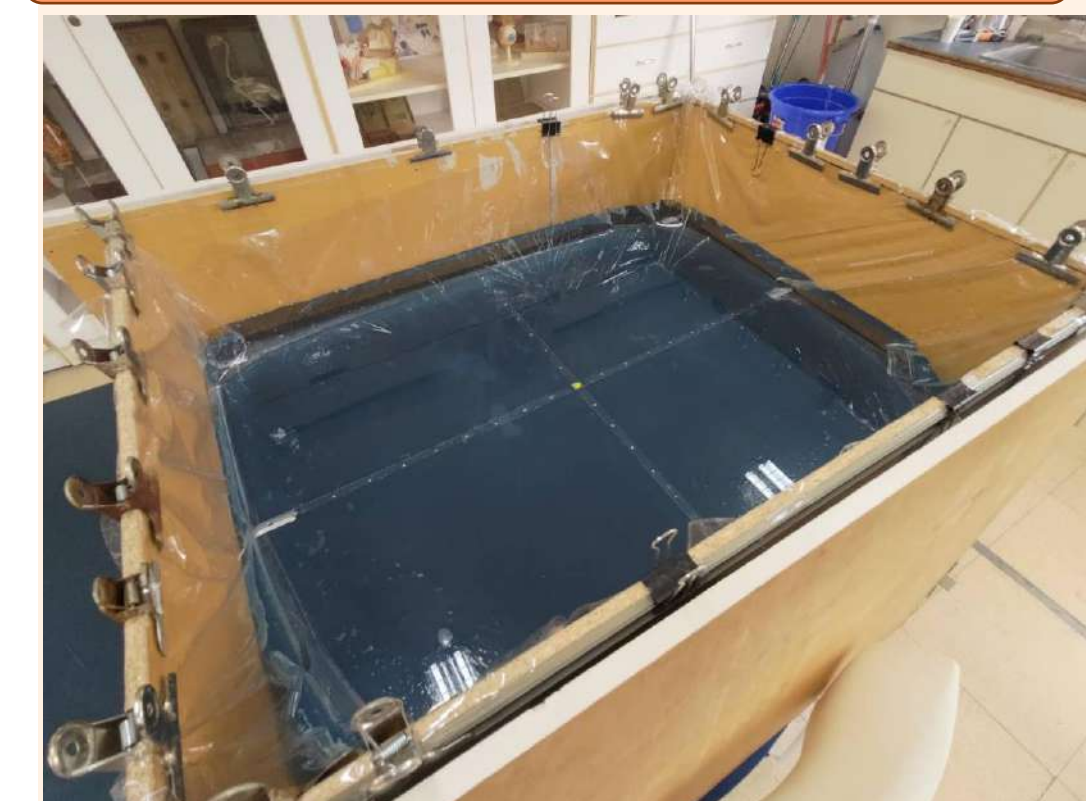
## 四、等角螺線風場繪製、暴風圈繪製方法

- 測量暴風圈直徑的長、短軸數值。
- 利用長、短軸長度，算出倍數r。  
$$\frac{\text{長軸}(a_{360}+a_{180})}{\text{短軸}(a_{180}+a_0)} = \frac{(a_{180} \times r + a_0 \times r)}{(a_{180} + a_0)} = \text{倍數}r(\text{轉}180^\circ)$$
- 算出 $a_0$ 項及以每度角為項數的距離公比k。  
$$a_0 = \frac{\text{短軸}}{1+r} \quad r^{(1/180)} = \text{等比數列以每度角為項數的距離公比}k$$
- 算出等比數列的每一項，再以Excel雷達圖繪製等角螺線圖。  
$$a_n = a_0 \times k^n \text{ 此為等比數列公式}$$

等角螺線是以等比數列遠離中心的距離繪製，可無限延伸。



## 五、水流場(輻合帶)模擬



1. 標記x軸與y軸，以每5公分為單位作點；水槽注水後，添加介質一號石英砂。

2. 颱風模擬：攪拌裝置放水面逆時針旋轉，使水流向內旋入。(原點)

3. 季風模擬：攪拌裝置放水底順時針旋轉，使水流向外旋出。(藍、橘點)

4. 改變季風與颱風的相對位置進行實驗，模擬輻合帶並拍照紀錄。

## 五、氣流場(風場不對稱性)模擬

1. 計算颱風八方位氣流進入角(理想型及季風共伴類型)。

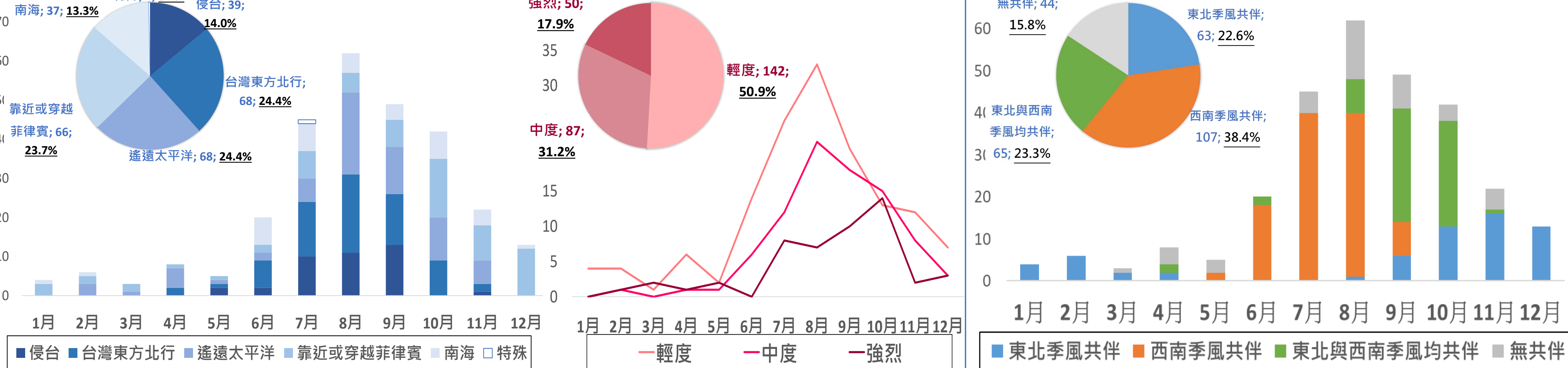
2. 調整氣流場入風口氣流進入角度，模擬颱風八方位的環境風場。

3. 以熱線式風速計測量風速場的數值並繪製等值線圖。

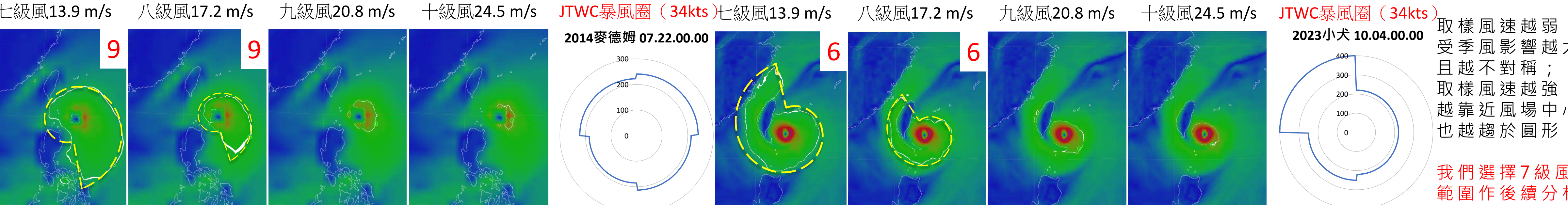
4. 由下往上拍攝風向場的微型風標(和風速場實驗分開進行)。

# 肆、研究結果

## 一、全年颱風分析(路徑、強度、季風共伴)



- 我們發現：  
1. 台灣東方北行、遠東太平洋、靠近或穿越菲律賓路徑的颱風最常見；侵台颱風約佔14%且集中在七~九月。  
2. 全年颱風巔峰強度，輕颱風比例最高(50.9%)，其次是中度(31.2%)、強烈(17.9%)。  
3. 颱風與東北季風共伴大多在9月~翌年2月最常見；與西南季風共伴在6~8月；與東北及西南季風共伴則在8~10月。



## 二、風場與輻合帶分析 (一) 東北季風共伴

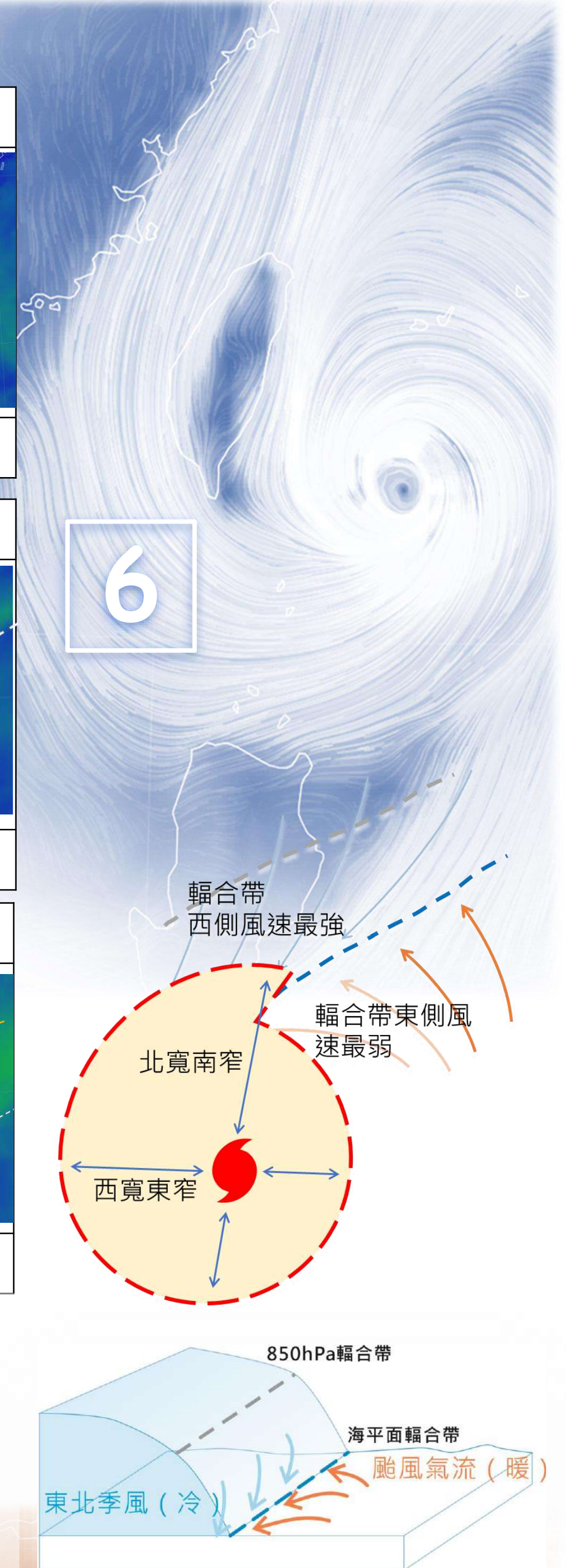
侵台(4)	2023小犬	10.04	10.05	10.06	靠近或穿越菲律賓	2022尼莎	10.15	10.16	10.17
	7級風風場 (白色實線) 及 高、低層輻合帶 (黃、白色虛線)					7級風風場 及 高、低層輻合帶			
	長短軸比	1.72	2.66	2.34		長短軸比	1.72	2.53	3.03

台灣東方北行	2018康芮	10.03	10.04	10.05	靠近或穿越菲律賓	2018玉兔	10.28	10.30	10.31
	7級風風場 及 高、低層輻合帶					7級風風場 及 高、低層輻合帶			
	長短軸比	1.31	1.25	1.17		長短軸比	1.23	1.84	1.94

靠近或穿越菲律賓	2021雷伊	12.18	12.19	12.20	靠近或穿越菲律賓	2019北冕	12.01	12.02	12.04
	7級風風場 及 高、低層輻合帶					7級風風場 及 高、低層輻合帶			
	長短軸比	3.52	3.41	2.13		長短軸比	2.44	1.94	2.89



我們發現：東北季風共伴，風場多呈「6」字等角螺線形。

1. 颱風於巴士海峽或南海時，受地形效應影響，風場長短軸比有時可達3~4倍。
2. 因北邊冷空氣密度較大，850hPa輻合帶普遍位在海平面輻合帶的更北邊，得知冷暖空氣交界面出現傾斜現象，類似鋒面。
3. 颱風受東北季風及地形效應影響，登陸前，風場呈斜向左的「6」，登陸時，風場呈「6」，過山後，風場呈斜向右的「6」。

## (二) 西南季風共伴

侵台(3)	2014麥德姆	07.21	07.22	07.23	靠近或穿越菲律賓	2018山竹	09.13	09.14	09.15
	7級風風場 (白色實線) 及 高、低層輻合帶 (黃、白色虛線)					7級風風場 及 高、低層輻合帶			
	長短軸比	1.92	2.00	1.90		長短軸比	1.38	1.33	1.34

侵台(3)	2015蘇迪勒	08.06	08.07	08.08	台灣東方北行	2015天鵝	08.20	08.22	08.23
	7級風風場 及 高、低層輻合帶					7級風風場 及 高、低層輻合帶			
	長短軸比	1.19	1.15	1.38		長短軸比	1.47	2.35	2.35

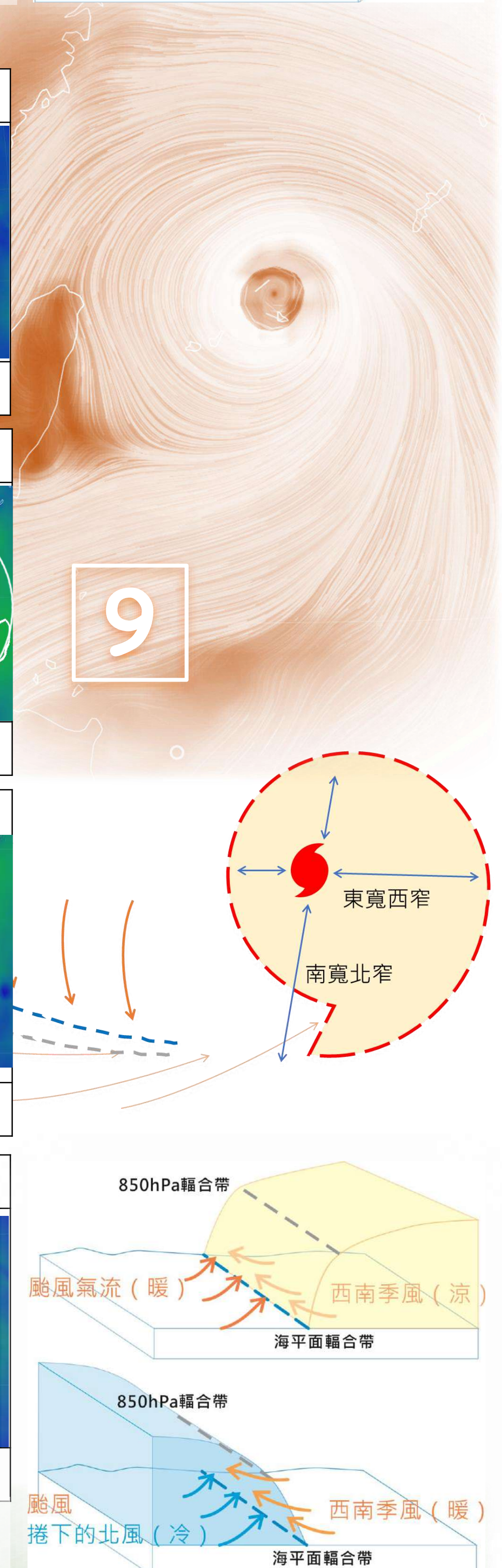
侵台(6)	2020巴威	08.22	08.23	08.24	台灣東方北行	2019玲玲	09.04	09.05	09.06
	7級風風場 及 高、低層輻合帶					7級風風場 及 高、低層輻合帶			
	長短軸比	1.75	1.80	1.04		長短軸比	1.21	1.45	1.08

侵台(6)	2021璨樹	09.11	09.12	09.13	台灣東方北行	2020梅莎	08.30	08.31	09.01
	7級風風場 及 高、低層輻合帶					7級風風場 及 高、低層輻合帶			
	長短軸比	1.49	1.44	1.30		長短軸比	1.31	1.36	1.06

靠近或穿越菲律賓	2014海鷗	09.14	09.15	09.16	台灣東方北行	2014海鷗	09.14	09.15	09.16
	7級風風場 及 高、低層輻合帶					7級風風場 及 高、低層輻合帶			
	長短軸比	1.84	1.39	1.55		長短軸比	1.84	1.39	1.55



我們發現：西南季風共伴，風場多呈「9」字等角螺線形。

1. 颱風至台灣東側時，輻合帶會出現彎曲或斷裂的現象，此現象與梅雨鋒面的結構相似。
2. 走靠近或穿越菲律賓路徑的颱風，位於台灣南方時，風場會因狹管效應，使風場呈現「6」，其餘大多呈「9」字形。
3. 颱風為暖氣團，與西南季風相比，氣溫較高。850hPa輻合帶普遍位在海平面輻合帶的更西南邊。

## (三) 東北與西南季風均共伴

侵台(3)	2016梅姬	09.25	09.26	09.27	侵台(7)	2016莫蘭蒂	09.12	09.13	09.14
	7級風風場 (白色實線) 及 高、低層輻合帶 (黃、白色虛線)					7級風風場 及 高、低層輻合帶			
	長短軸比	1.18	1.18	1.21		長短軸比	1.16	1.12	1.49

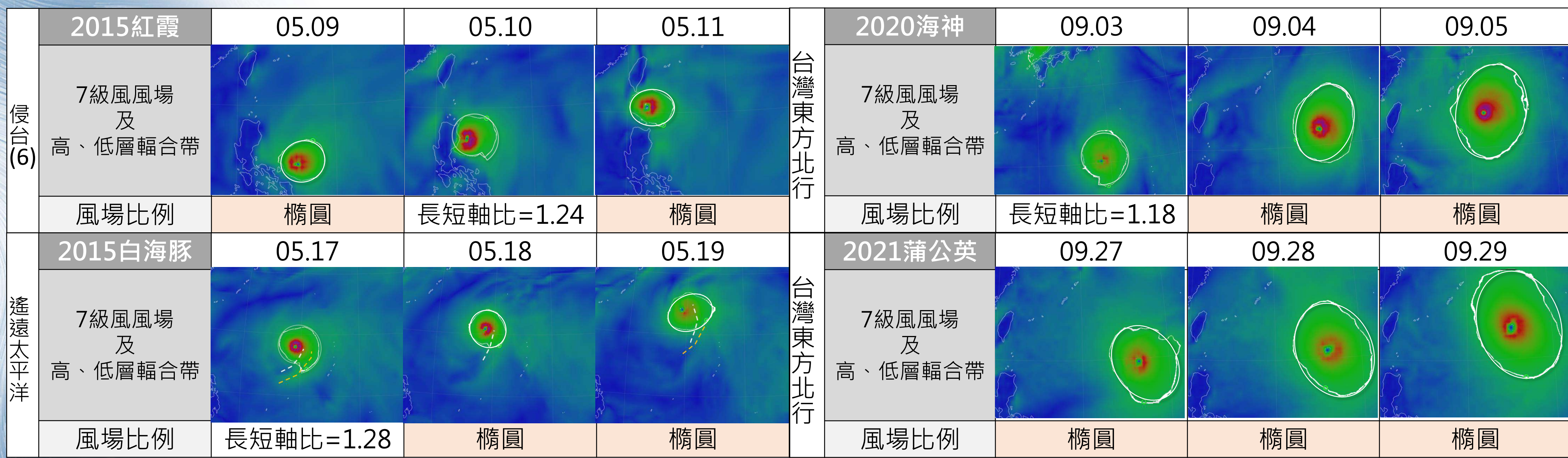
侵台(5)	2023蘇拉	08.30	08.31	09.01	侵台特殊	2014鳳凰	09.20	09.21	09.22
	7級風風場 及 高、低層輻合帶					7級風風場 及 高、低層輻合帶			
	長短軸比	2.44	2.70	2.44		長短軸比	2.16	2.76	1.67

侵台(6)	2019米塔	09.29	09.30	10.01	台灣東方北行	2017泰利	09.11	09.12	09.14
	7級風風場 及 高、低層輻合帶					7級風風場 及 高、低層輻合帶			
	長短軸比	1.22	1.21	1.90		長短軸比	1.76	1.91	1.28



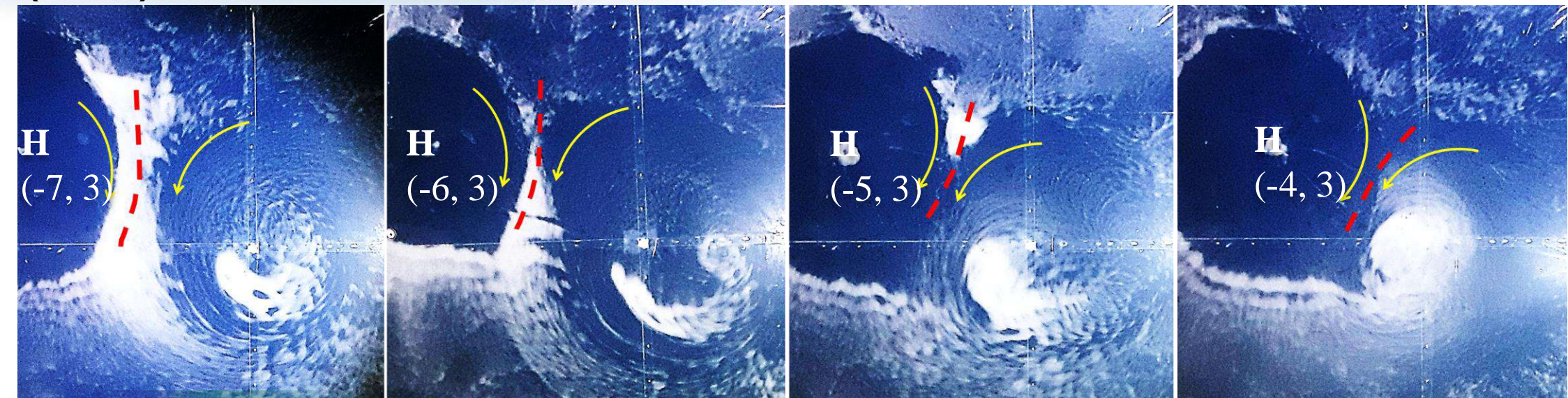
(四) 無共伴



我們發現：無季風共伴的颱風風場常呈橢圓形，也無明顯輻合帶。

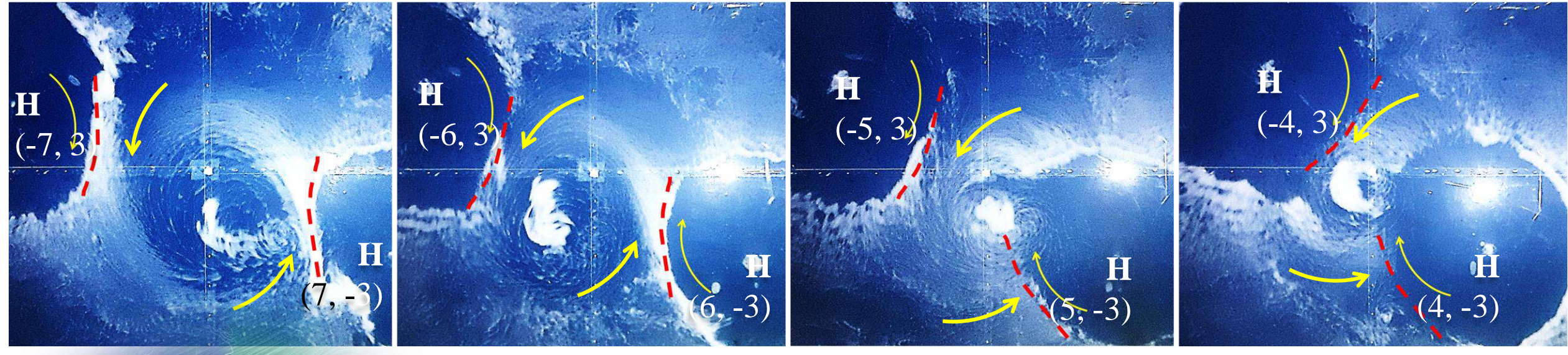
三、與季風共伴的颱風水流場模擬 (模擬輻合帶)

(一) 模擬單側季風共伴



我們發現：季風與颱風氣流夾角改變，輻合帶的斜率會有變化，方向也會有垂直趨於水平的變化。

(二) 模擬雙側季風共伴

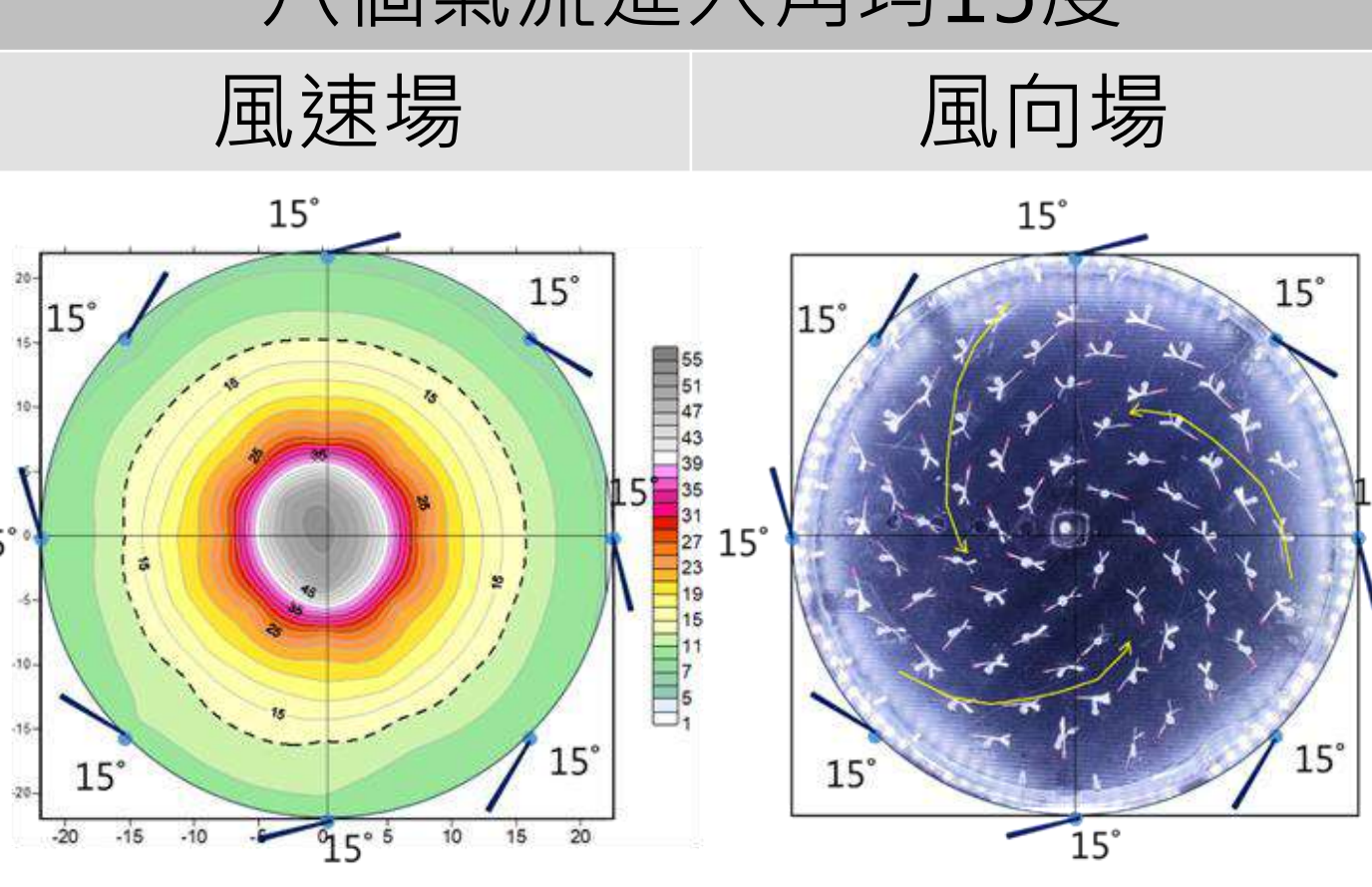


我們發現：季風與颱風氣流夾角改變，兩條輻合帶的斜率及方向也發生變化。然而，水流速度無法測量，我們改以氣流場進行風場的不對稱性模擬。

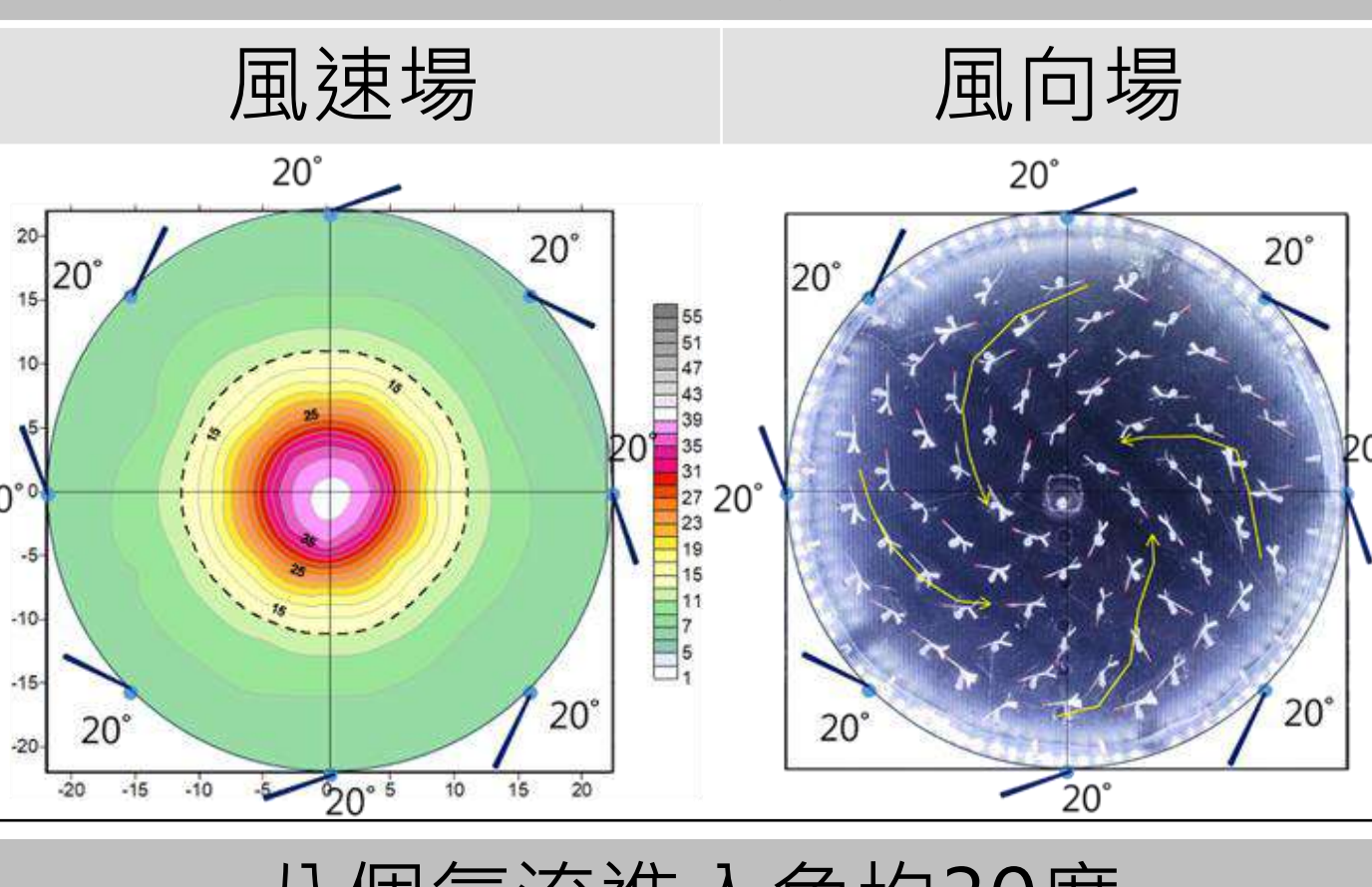
四、與季風共伴的颱風氣流分析 (Earth Nullschool、ASRAD) 與風場模擬 (模擬風速場、風向場與輻合帶)

(一) 探討氣流進入角對風場的影響

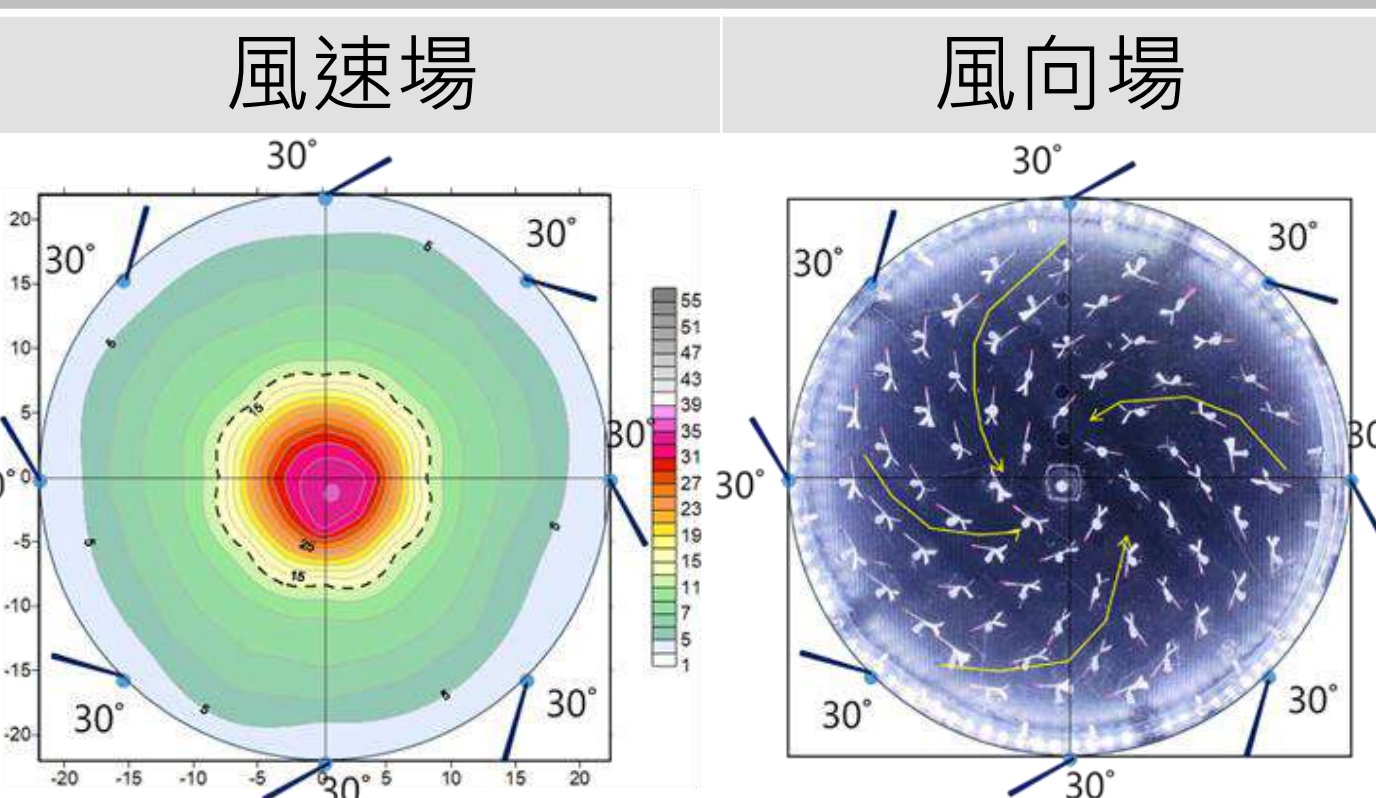
八個氣流進入角均15度



八個氣流進入角均20度



八個氣流進入角均30度



我們發現：氣流進入角都相同時，角度越小，風場範圍愈大，風速也愈強。

伍、討論與結論

一、資料分析

(一) 資料來源：本研究分析自2013~2023年間所有颱風，分析其路徑、風速、輻合帶等，並設計水流場與氣流場模擬實驗，進行輻合帶與風場不對稱的模擬。

(二) 2013~2023年間颱風路徑、強度、季風和共伴的月份、比例

路徑分類	台灣東方北行	靠近或穿越菲律賓	侵台	南海	遠東太平洋
占比	24.4%	23.7%	14.0%	13.3%	24.4%
月份	6~10月	7~12月	7~9月	6~11月	7~11月

強度	輕度	中度	強烈
占比	50.9%	31.2%	17.9%

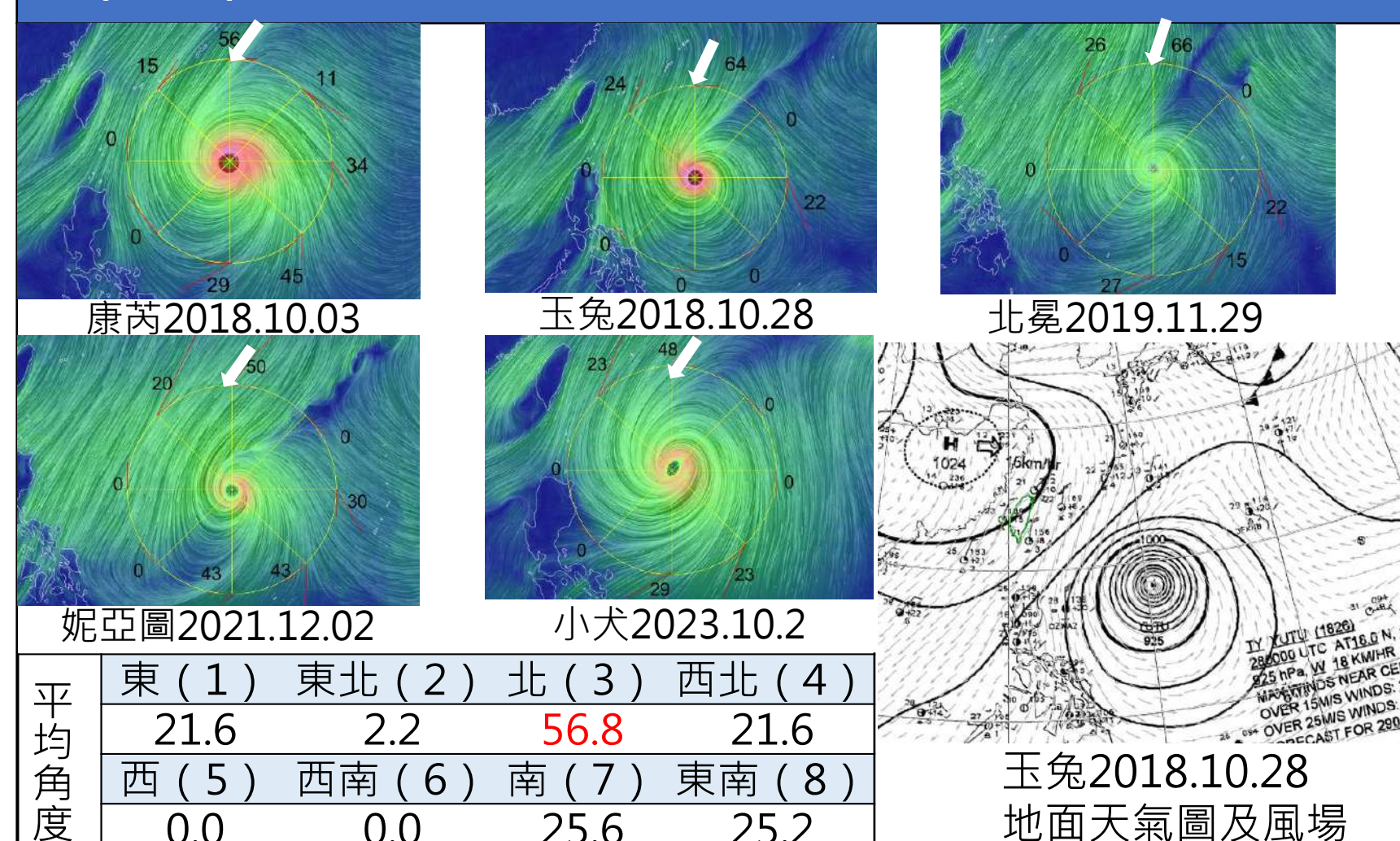
  

颱風共伴種類	東北季風共伴	西南季風共伴	東北及西南季風共伴	無共伴
占比	22.6%	38.4%	23.3%	15.8%
月份	9月~翌年2月	6~8月	8~10月	4~11月

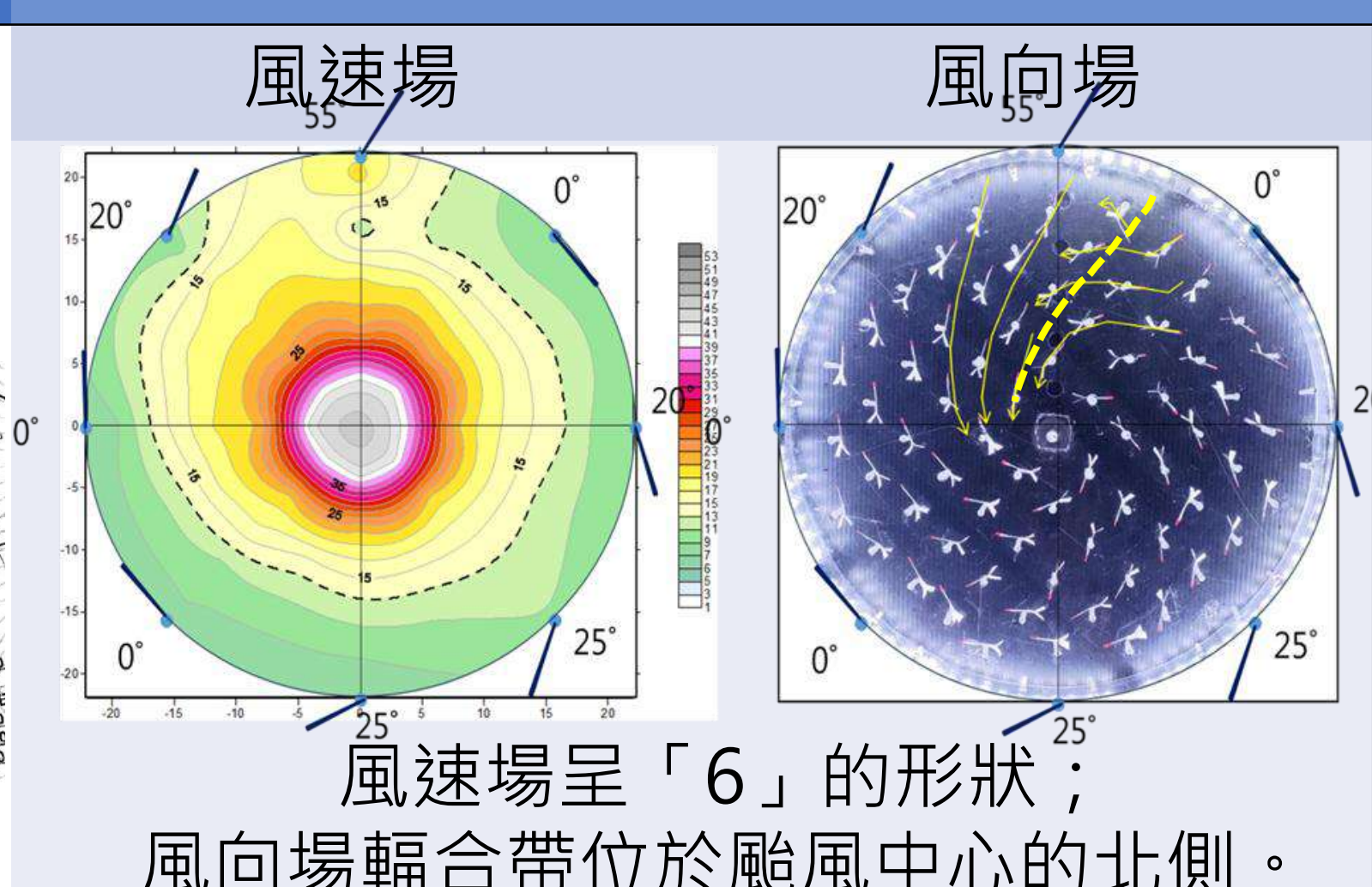
二、季風共伴

共伴分類	東北季風共伴	西南季風共伴	東北與西南季風均共伴
風場形狀	呈「6」字等角螺旋線形	多呈「9」字等角螺旋線形	東北季風影響大，多為「6」字形 西南季風影響大，多為「9」字形
海平面輻合帶	位於颱風的北側；類似鋒面邊界層傾斜	位於颱風的南側；颱風位於台灣東側，有類似梅雨鋒面彎曲或斷裂的結構	東北及西南側常各有一條，北側輻合帶延伸到較遠的地方
850hPa輻合帶	較海平面輻合帶更偏北	較海平面輻合帶更偏南；北風溫度較低，更偏北	東北側較海平面輻合帶更偏北 西南側則更偏南
特殊說明	颱風位於南海，風場長短軸比例差異更大	台灣海峽狹管效應可能使風場變「6」的形狀；颱風位於東方海面輻合帶類似梅雨鋒面	若東北與西南季風強度差異不大時，則可能同時出現「6」及「9」字形

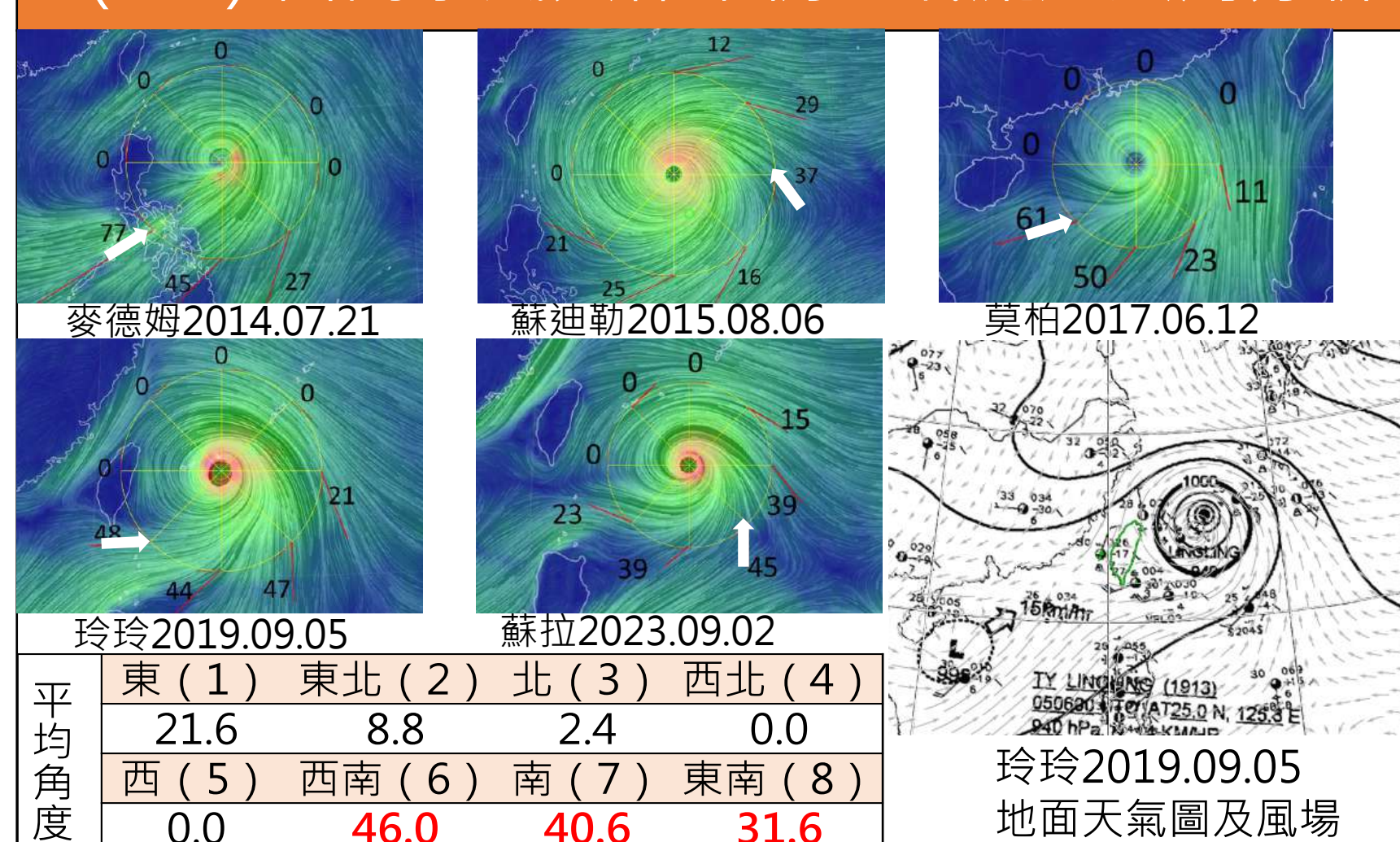
(二) 東北季風共伴案例。氣流進入角分析



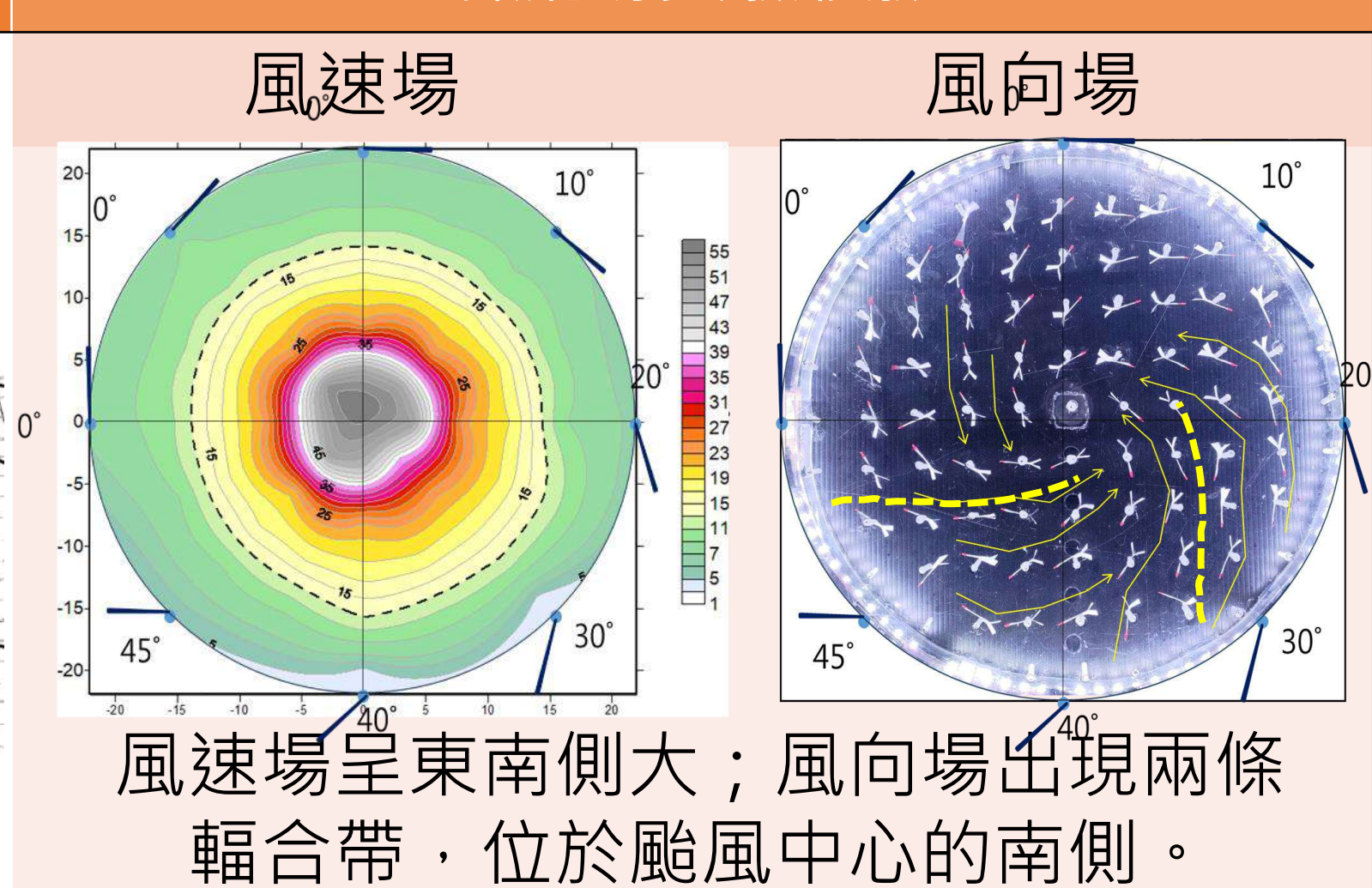
氣流場實驗模擬



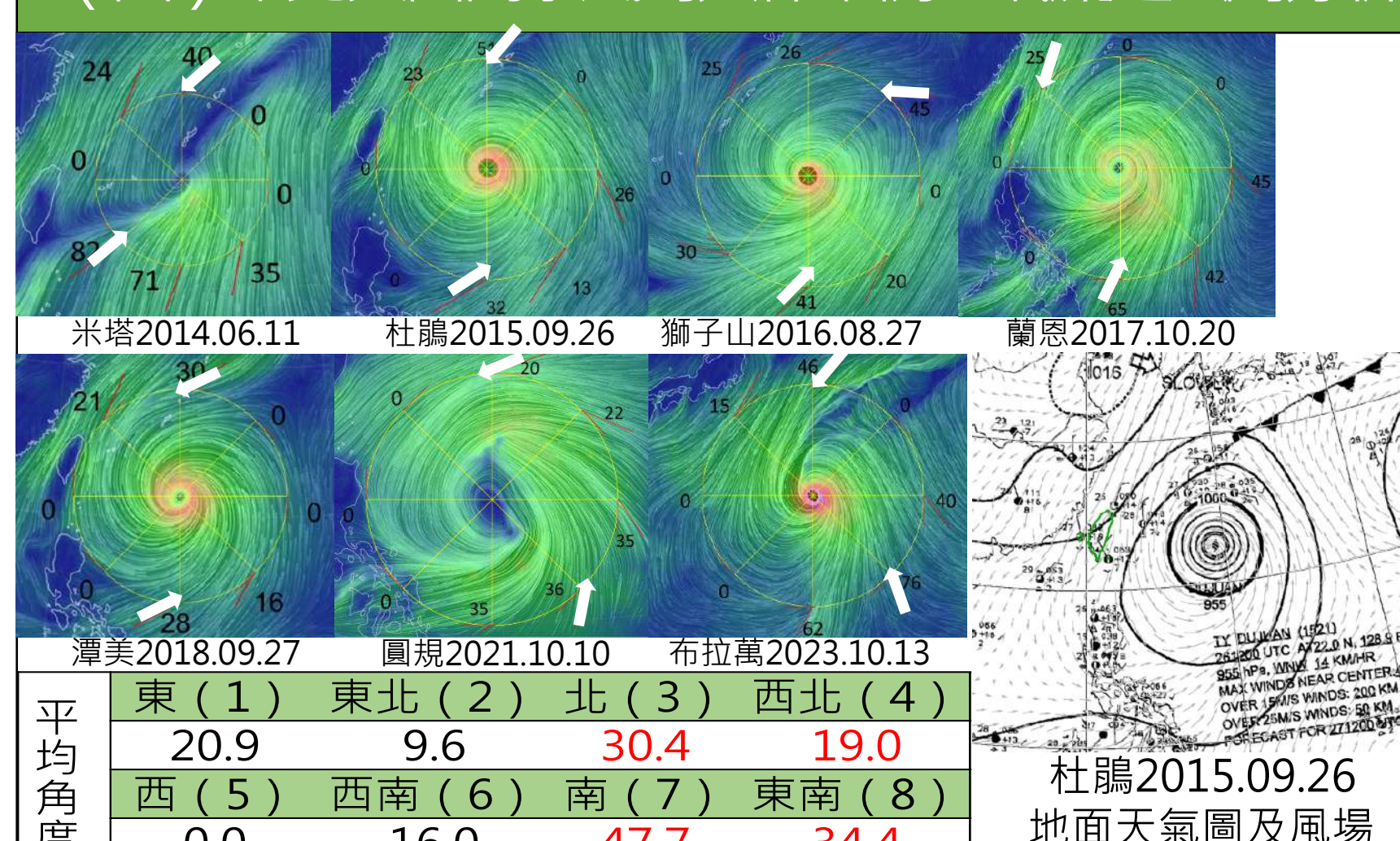
(三) 西南季風共伴案例。氣流進入角分析



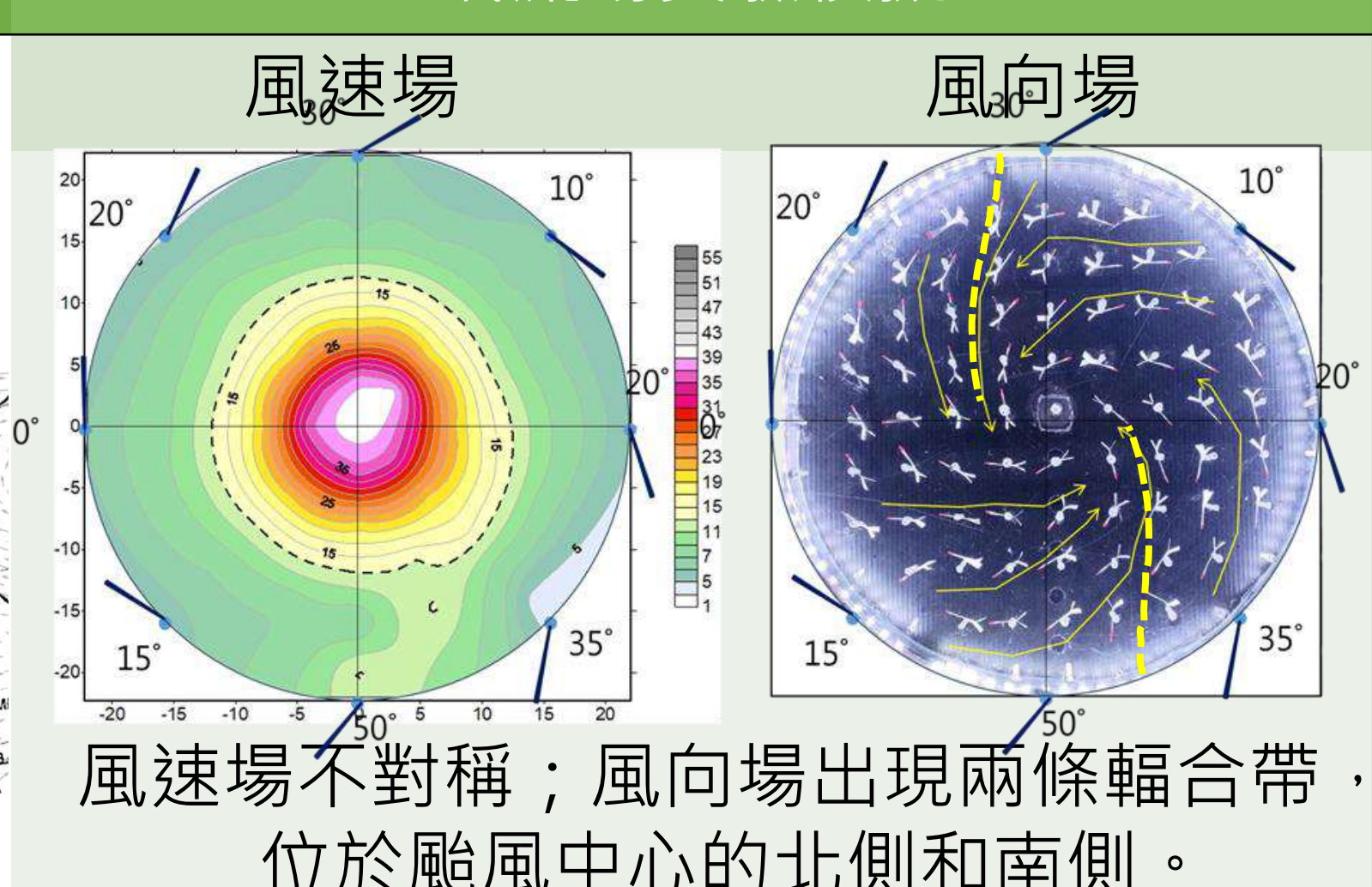
氣流場實驗模擬



(四) 東北與西南季風均共伴案例。氣流進入角分析



氣流場實驗模擬



沒有東北季風與西南季風共伴的颱風，風場常無「6」或「9」的形狀，7級風區域接近橢圓形，亦無明顯輻合帶。在Shea & Gray 1973年的論文中提到，颶風行徑方向的右側為較大的危險半徑；左側為較小的安全半徑（左圖），類似我們分析的無共伴颱風。

三、水流場利用高、低氣壓裝置模擬季風以及颱風。我們發現：

- (一) 模擬單側季風共伴，隨著季風與颱風氣流夾角改變，輻合帶的斜率會有變化，方向也會有垂直趨於水平的變化。
- (二) 模擬雙側季風共伴，隨著季風與颱風氣流夾角改變，出現兩條輻合帶，斜率及位置也發生變化。
- (三) 東北季風共伴的颱風，北側氣流進入角大，風速場呈「6」的形狀；風向場輻合帶位於颱風中心的北側，與實際情形相似。
- (四) 西南季風共伴的颱風，南側氣流進入角大。風速場呈東南側大；風向場出現兩條輻合帶，位於颱風中心的南側，與實際情形相似。
- (五) 雙側季風共伴的颱風，北側和南側各有一角度大的氣流進入角，風速場亦不對稱；風向場輻合帶位於颱風中心的北側及南側，此結果與實際情形相似。

陸、參考文獻

艾寧靜 (2014)。颱風與季風共伴之環境場研究。中華防災學刊：6(2)：247-253。  
 黃玉涵、江妍慈 (2024) 旋風登台，引領流型—探討西行侵台颱風之流型變化與實驗模擬。2024台灣國際科展地球與環境科學。  
 莊詠鈺、吳孟環、余慧安 (2018)。風度「偏偏」分析颱風風場的不對稱性及實驗模擬。第58屆全國科展作品地球與行星科學。  
 蕭柏智、范傑翔、蔡昂原 (2018)。Co-movement! 秋颶共伴效應之深入探討。第58屆全國科展作品地球與行星科學。  
 Shea, J. & Gray, M. (1973) The Hurricane's Inner Core Region. I. Symmetric and Asymmetric Structure. Journal of the atmospheric science. 30: 1544-1564.