

2025年臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

作品編號	180021
參展科別	地球與環境科學
作品名稱	「旋」機妙策—探討颱風與季風互動之螺旋式 風場變化
得獎獎項	三等獎

就讀學校	高雄市立仁武高級中學
指導教師	蘇毓智 林姝君
作者姓名	林伯羽 郭泳承

關鍵詞 風場不對稱性、等角螺線、季風共伴

作者簡介



我們是仁武高中國中部三年級的林伯羽和郭泳承，從國二開始便一起合作進行實驗。我們對颱風充滿興趣，因此希望能深入研究這個主題。整個研究過程工作量繁重，需要堅強的毅力才能持續下去，但我們也因此學會了如何整理資料、分配任務以及調適情緒。雖然過程中遇到不少挫折，但每一次失敗都讓我們更接近成功。能有機會參加國際科展是我們的榮幸，不僅可以結識來自不同國家的人，還能了解各國的文化風俗，拓展國際視野，也為我們的人生履歷增添了寶貴的一頁。

2025 年臺灣國際科學展覽會

研究報告

區別：南區

科別：地球與環境科學科

作品名稱：「旋」機妙策—探討颱風與季風互動之螺旋式風場變化

關鍵詞：風場不對稱性、等角螺線、季風共伴

編號：180021

摘要

本研究主旨是在探討颱風與季風互動對颱風風場不對稱性變化的影響，分析了 2013 至 2024 年 9 月期間的颱風數據，結果顯示，季風是影響颱風風場形狀的關鍵因素。在東亞特有的季風氣候中，84%的颱風受到季風共伴的影響，我們發現，在季風共伴下，颱風的七級風場會呈現螺旋形，東北季風影響下多呈「6」形，西南季風影響下多呈「9」形，這些形狀可用「等角螺線」來描述，對於季風影響不明顯的颱風，風場形狀則更接近橢圓。我們進一步計算集合重合率以驗證形狀描述的準確性。

此外，本研究將颱風生活史的流型演變分為五類，結果顯示，環境條件相似的颱風，在流型變化上具有相似性。我們還利用颱風氣流場裝置模擬颱風風場，測量風速和風向，深入探討環境風場對颱風不對稱性的影響。

Abstract

This study aims to explore how typhoons and monsoons interact to cause changes in the wind patterns of typhoons. We analyzed typhoon data from 2013 to September 2024. The results show that monsoons are a key factor in shaping typhoon wind patterns. In East Asia, where there is a unique monsoon climate, 84% of typhoons are influenced by the monsoon. We found that, under monsoon influence, the seven-level wind fields of typhoons take a spiral shape. Typhoons with a northeast monsoon often form a "6" shape, while those with a southwest monsoon form a "9" shape. These shapes can be described as "equiangular spiral." Typhoons with a light monsoon effect tend to have an elliptical wind field shape. We also calculated the overlap rate to check the accuracy of these shape descriptions.

Additionally, this study grouped the changes in typhoon wind patterns into five types. The results show that typhoons with similar environmental conditions share similar wind patterns. We also used a typhoon airflow model to measure wind speed and direction, helping us better understand the effects of environmental wind fields on the shape and symmetry of typhoons.

壹、前言

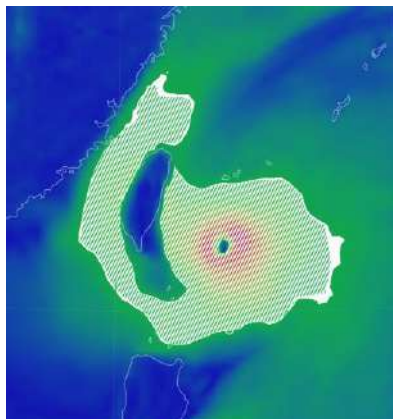
學界普遍認為，颱風風場具有不對稱性，影響其對稱性的因素眾多，如季風、地形及駛流場等。各國在面對不斷變化的颱風形態時，也因此採用不同的預報方法。例如：我國中央氣象署（CWA）以颱風的 10 分鐘平均七級風的平均半徑作為暴風圈，並附註四個象限的暴風範圍；日本氣象廳（JMA）則使用 15m/s 的風速將暴風圈標示成圓或橢圓形，記錄颱風眼最長及最短軸的距離與方位；美軍聯合颱風預警中心（JTWC）採用 1 分鐘平均風速分別標示 34 kts、50 kts 及 64 kts 範圍於四個象限。各國的預報方法尚未形成共識，也促使我們思考，是否存在其他幾何形狀或更適合的預報方式來描述颱風的風場形狀？

有報導指出，颱風雲層會以螺旋形向外延伸，受季風影響甚至可能呈現 6 或 9 的形狀（林偉文，2016）。因此，我們假設颱風的風場也可用螺旋形描述，並查找了各種螺旋形，如「等速螺線」和「等角螺線」，發現這些螺旋形均可通過數列方式向外擴展繪出，或許適合做為描述颱風風場形狀的參考，我們也計算螺旋風場實際風場的集合重合率加以驗證。

本研究利用視覺化數值預報平台 Earth Nullschool 的歷史颱風風場數據，對各種流型的颱風進行分析和分類，特別聚焦颱風與季風的互動，因為西北太平洋不僅是颱風生成數最多的海域，同時也是季風活動最旺盛的區域，我們亦嘗試分析流型在颱風生命週期中的演變趨勢。為增強研究的直觀價值，我們設計了可調整氣流進入角的颱風氣流場模型，用來模擬輻合帶及風場不對稱的變化。

本研究的具體目的是：

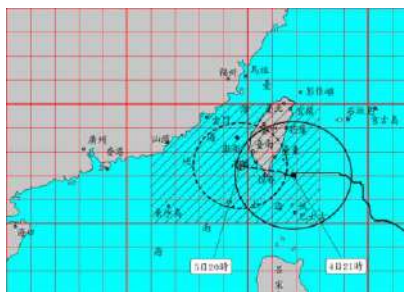
- 一、 分析 2013 ~ 2024 年間的颱風與季風共伴的案例
- 二、 分類季風共伴颱風的流型，並計算其集合重合率以驗證可信度
- 三、 研究颱風流型的變化趨勢
- 四、 利用氣流場模擬受季風影響的颱風的輻合帶與不對稱性



Earth Nullschool 數值模擬網

站的七級風範圍資料。

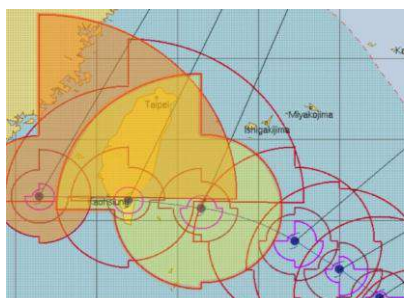
(虛線部分作者繪製)



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。



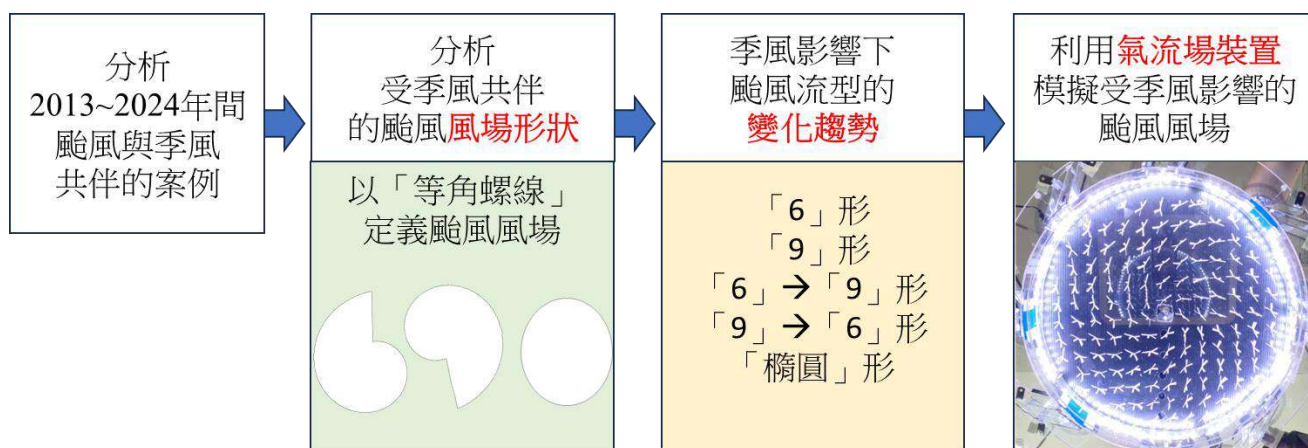
日本氣象廳 JMA

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。

圖一、世界各國處理颱風風場不對稱性的預報方法皆不相同

(以 2023 小犬颱風為例，資料取自各預報機構網站)

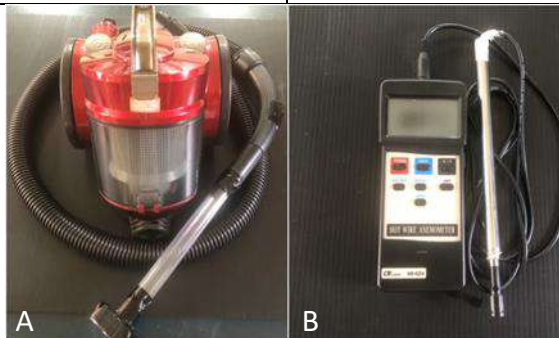


圖二、研究架構 (作者自行拍攝繪製)

貳、研究方法或過程

一、研究設備器材與資料

器材	耗材
熱線式風速計（Lutron AM-4204） 吸塵器（東元 TECO XYFXJ501）	大玻璃、LED 燈環、細鐵絲、L 型角鐵、 描圖紙、塑膠片、吸管、瓦楞板、壓克力 板、量角器、雙面膠、絕緣膠帶、鋁膠帶
資料來源	軟體
Earth Nullschool、大氣科學研究與應用資 料庫、維基百科、中央氣象署網站、日本 氣象廳網站、聯合颱風預報中心網站	EXCEL、SURFER、123DESIGN、 Photoshop、CorelDraw、ImageJ



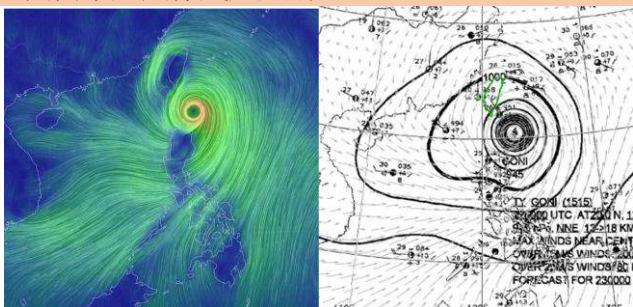
圖三、器材圖（作者自行拍攝繪製）。

A. 吸塵器、B.熱線式風速計。

二、資料分析

- （一） 颱風的選擇與分類：本研究選擇 2013～2024 年 9 月間的所有颱風，參考維基百科整理歷年颱風季的颱風路徑、強度、是否與季風共伴等資料進行分類分析。
- （二） 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。

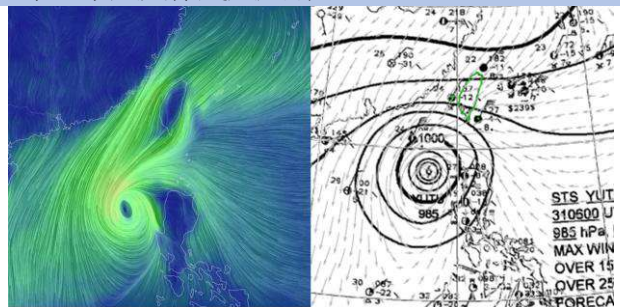
西南季風共伴颱風風場 2015/08/22 00：00UTC



Earth Nullschool

大氣科學研究與應用資料庫

東北季風共伴颱風風場 2018/10/31 06：00UTC



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。

東北季風成因：入秋後，冷高壓自大陸東移入海，帶來東北風。

(三) 分析流型及季風共伴颱風列表：

年代	名稱	年代	名稱	年代	名稱
2014	麥德姆	2018	康芮	2021	雷伊
2014	海鷗	2018	玉兔	2021	蒲公英
2014	鳳凰	2018	山竹	2021	燦樹
2015	紅霞	2019	北冕	2022	軒嵐諾
2015	白海豚	2019	玲玲	2023	小犬
2015	天鵝	2020	海神	2023	海葵
2015	蘇迪勒	2020	梅莎		
2016	梅姬	2020	巴威		

(四) Earth Nullschool 歷史風場及風速圖擷取

1. 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。
2. 進入 Earth Nullschool 網站，查詢 2013 至 2024 年颱風資料，畫面調整縮放至颱風範圍內；時間選擇 00：00 UTC 國際標準時間。
3. 颱風暴風範圍圈選（圖四 B）：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，擷取風場圖後以「設定透明色彩工具」，便可將特定風速範圍標示。
4. 颱風與季風共伴位置判斷（圖四 A）：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。

(五) 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 。

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

$$= (a_{180} \times r + a_0 \times r) \div (a_0 + a_{180}) = \text{倍數 } r \text{ (轉 } 180^\circ \text{)}$$
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。

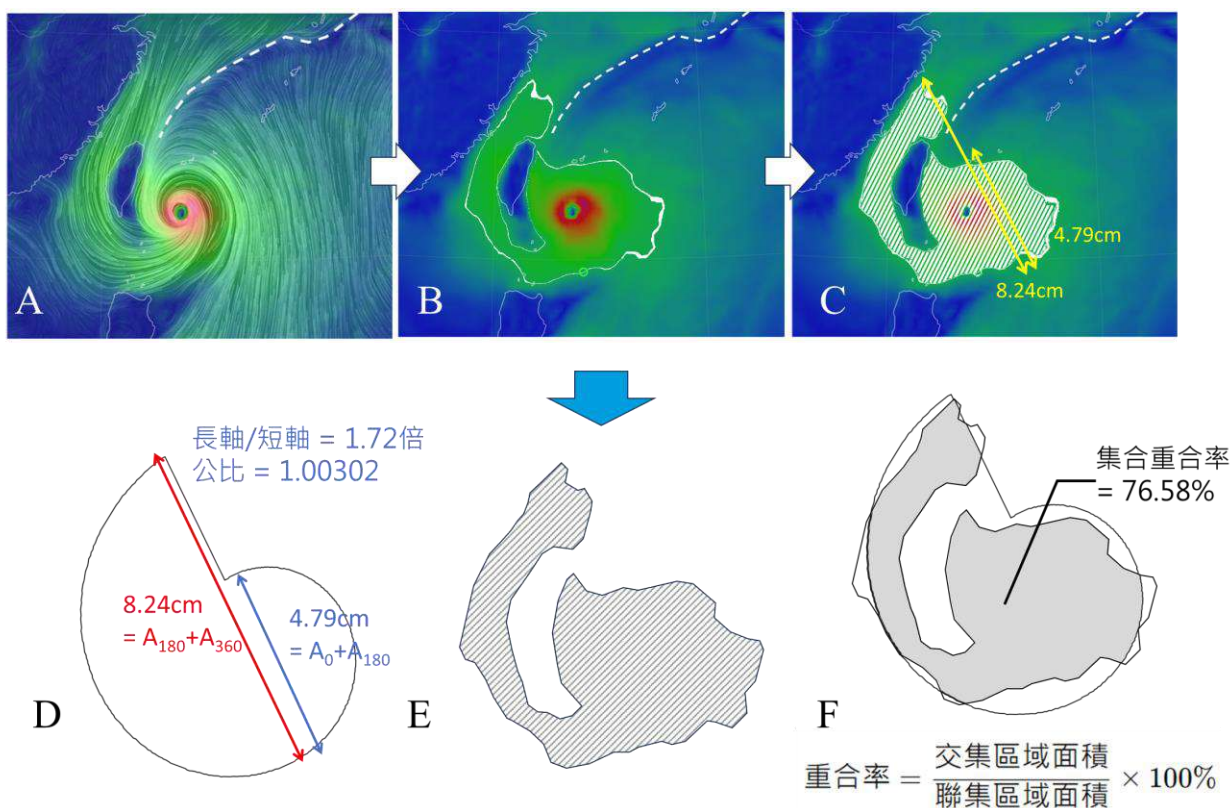
$$a_n = a_0 \times k^n \text{ 此為等比數列公式}$$

（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）

(六) 橢圓形風場繪製方法：使用 Word 繪圖工具中的橢圓進行風場範圍繪製或旋轉

(七) 集合重合率

1. 使用「PowerPoint」的「手繪多邊形」功能描繪出颱風的七級風範圍。
2. 將等角螺線（或橢圓形）疊合到風場上。
3. 利用「ImageJ」算出七級風範圍與等角螺線圖形（或橢圓形）的聯集面積以及交集面積。
4. 集合重合率 = (交集面積 / 聯集面積) × 100%。



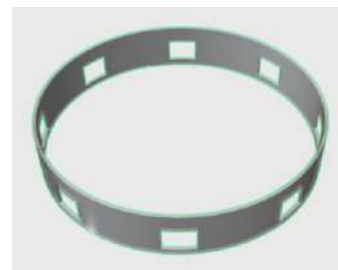
圖四、利用 Earth Nullschool 資料繪製等角螺線及計算重合率。

A.利用動態風場圖繪製輻合帶、B.13.9m/s 七級風範圍、C.計算風場長短軸、
D.利用 Excel 繪製等角螺線、E.描繪風場範圍、F.計算最大的集合重合率。

三、氣流場模擬裝置

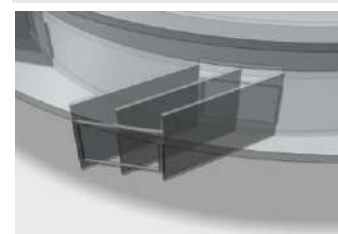
(一) 圍邊

- (1) 裁切 8 公分寬的塑膠片，圍成直徑 46 公分的環狀。
- (2) 在圓環距離底部 1 公分處，裁切 8 個長 5 高 4 cm 的入風口，彼此間隔 13 公分，逆時針編號 1 到 8 號入風口。



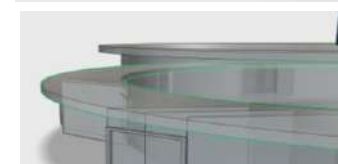
(二) 引流板

1. 裁切三塊 8 x 5 cm 的壓克力板，間隔 2cm 水平排列，將鉛線折成口字形固定在吸管中黏上，可以調整角度時保持三者平行。
2. 將 8 組引流板裝在入風口上。



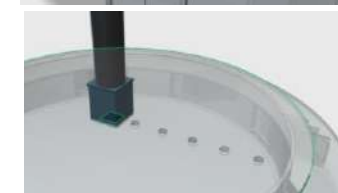
(三) 環狀圓盤

1. 直徑 60 公分的圓形壓克力板，中央切除直徑 46 公分的圓。
2. 將此環緊套著圍邊，與引流板上端密合。



(四) 氣流場上蓋

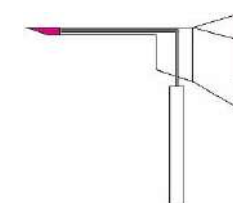
1. 製作與圍邊上端密合的上蓋，並從中心切邊長 3 公分的正方形，作為連接吸塵器的洞口。
2. 從中心開始，向外每 4 公分挖一直徑 1 公分的圓形孔洞，總計 5 個，作為熱線式風速計測量風速的測量口。



圍邊、引流板構造、
環狀圓盤、上蓋
(作者繪製)

(五) 微型風標

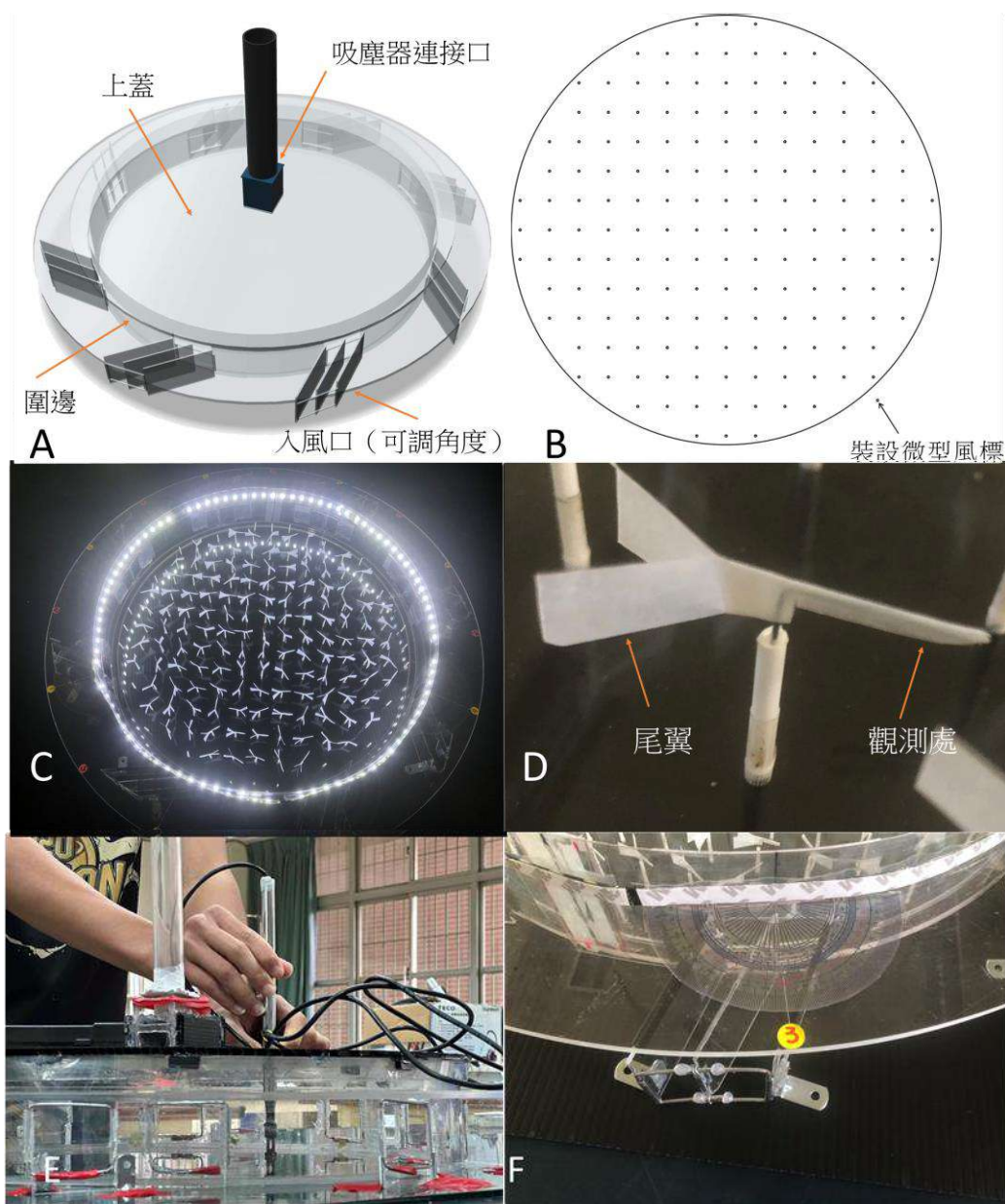
1. 切一個直徑 46cm 的圓形壓克力板。
2. 在圓形壓克力板上畫上直角座標，每 3 公分為間隔鑽孔，每個孔都插上長 2 公分寬 2mm 的塑膠管。
3. 製作微型風標，以細鐵絲折成 90 度，將描圖紙剪成長 2.8 公分，寬 1 公分，尾翼岔開的風標，完成後插入塑膠管中。共計製作 161 個微型風標。
4. 將圓形壓克力板及微型風標放在氣流場內，圍上 LED 燈條，放在架高透明玻璃板上，由下往上拍攝。



微型風標構造
(作者繪製)

四、氣流場實驗模擬方法

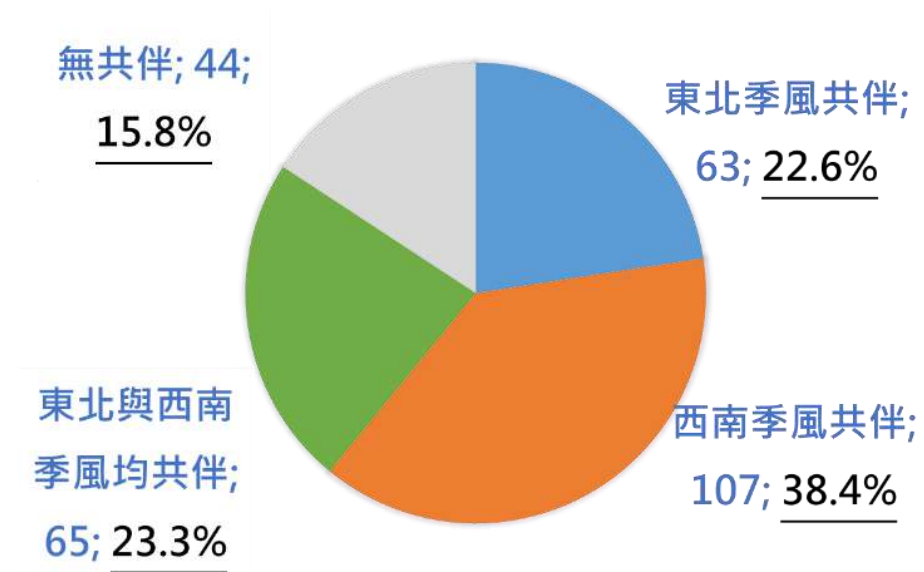
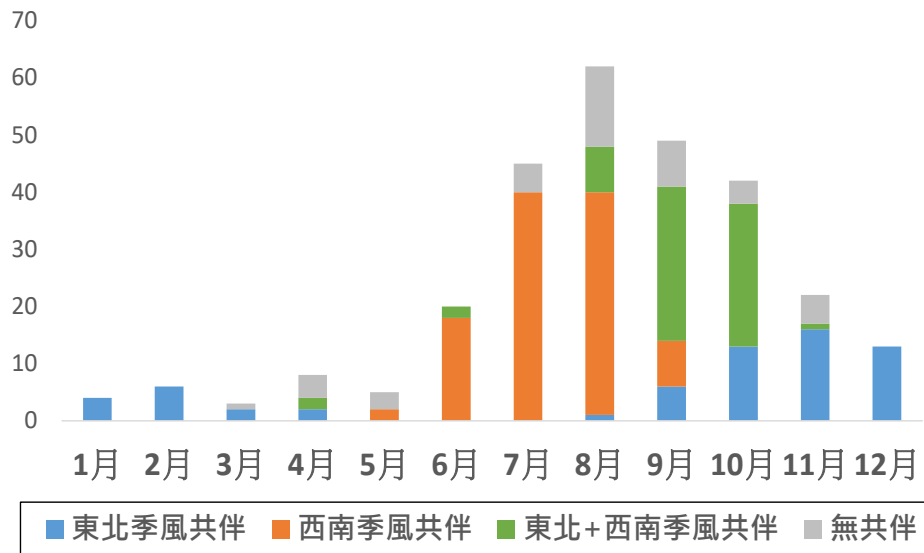
- (一) 將量角器放在環狀圓盤上，使量角器中線對齊引流板中間的穩流塑膠片（90°時），再切齊切線，待對到指定角度後，以絕緣膠帶固定引流板。
- (二) 測試八個入風口氣流進入角均 15°、20°、30° 的理想型颱風風速風向場。
- (三) 計算實際颱風八個方位氣流進入角度：選定受季風共伴的颱風案例，並測量八方位氣流進入角度，東北、西南、雙季風共伴各挑選一個實際颱風案例。
- (四) 依實際季風共伴案例的八個氣流進入角調整角度，開啟吸塵器後觀察風場不對稱颱風的風速場及風向場。



圖五、氣流場模擬裝置（照片及圖片為作者拍攝繪製）A.氣流場整體簡介圖、B.氣流場實體俯視圖、C. 風標座標圖、D.微型風標說明圖、E.風速測量示意圖、F.調整角度示意圖。

參、研究結果

一、 分析 2013 ~ 2024 年間的颱風與季風共伴的案例

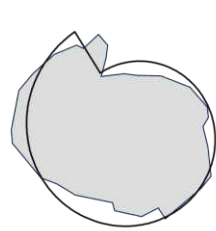
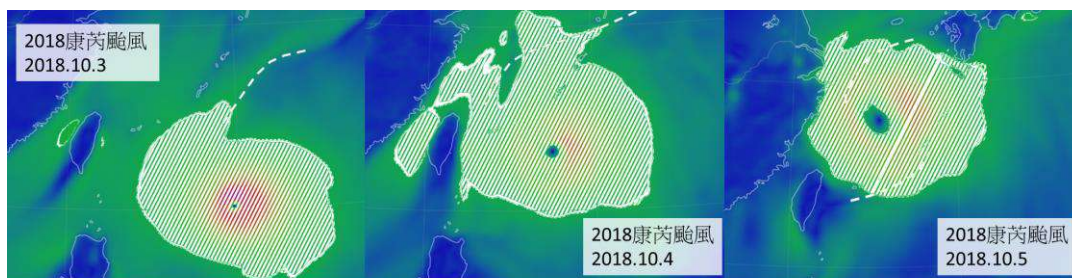


本研究發現：颱風與東北季風共伴大多發生在 9 月~翌年 2 月，與西南季風共伴在 6~8 月最常見，與東北及西南季風均共伴則是在 8~10 月，整體而言，與季風發生互動的颱風約佔所有颱風總數的 84.2%，比例甚高。

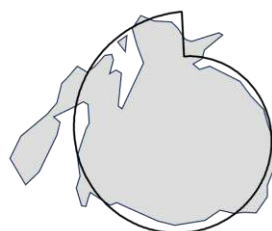
依中央氣象署統計，台灣一年受到 7 個月東北季風（十~四月）及 3 個月西南季風（六~八月）影響，受季風影響甚鉅。本研究發現，許多颱風在生活史的不同時期，常受季風的影響，甚至西南風也是颱風生成條件之一，因此，我們選擇中度以上、發展成熟的典型案例分析，分為（一）東北季風影響顯著的颱風、（二）西南季風影響顯著的颱風、（三）較無季風互動，範圍較小，或受季風影響較小的颱風，來進行風場分析。

二、 分類季風共伴颱風的流型，並計算其集合重合率以驗證可信度（作者自行繪製）

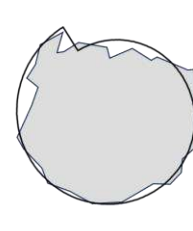
（一） 東北季風影響顯著的颱風－「6」形（或C形）



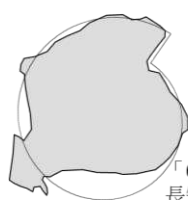
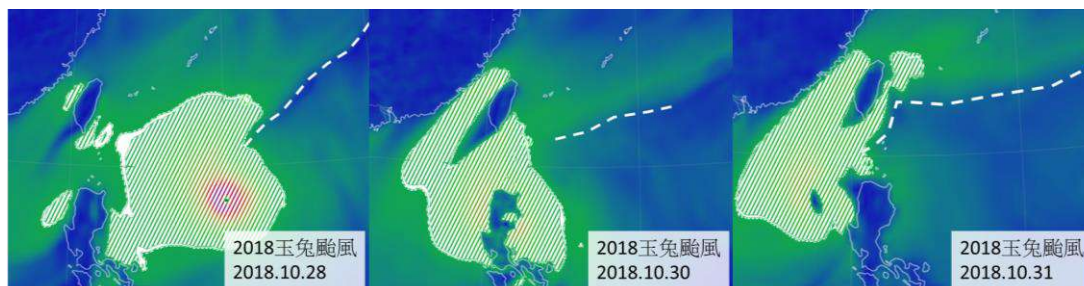
長短軸倍數：1.31
集合重合率：84.68%



長短軸倍數：1.25
集合重合率：79.55%



長短軸倍數：1.17
集合重合率：91.81%



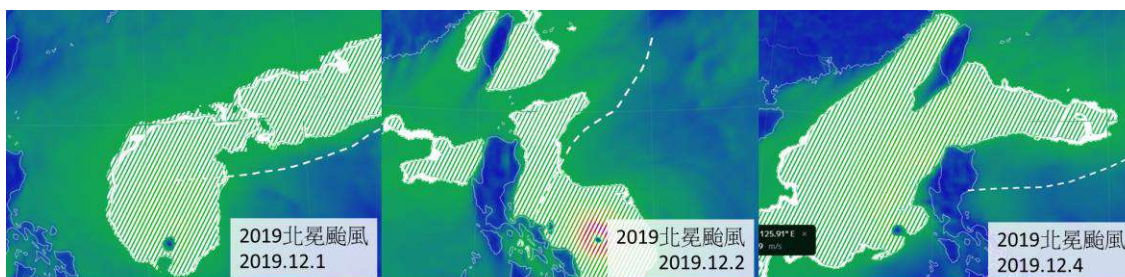
長短軸倍數：1.23
集合重合率：81.54%



長短軸倍數：1.84
集合重合率：65.73%



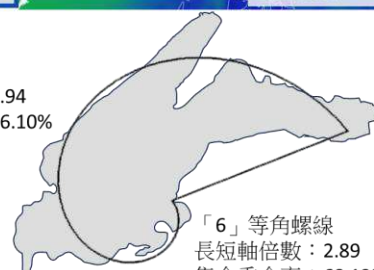
長短軸倍數：1.94
集合重合率：61.32%



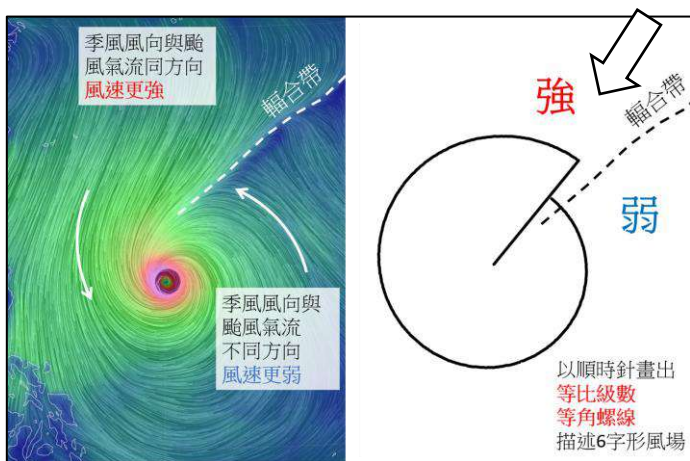
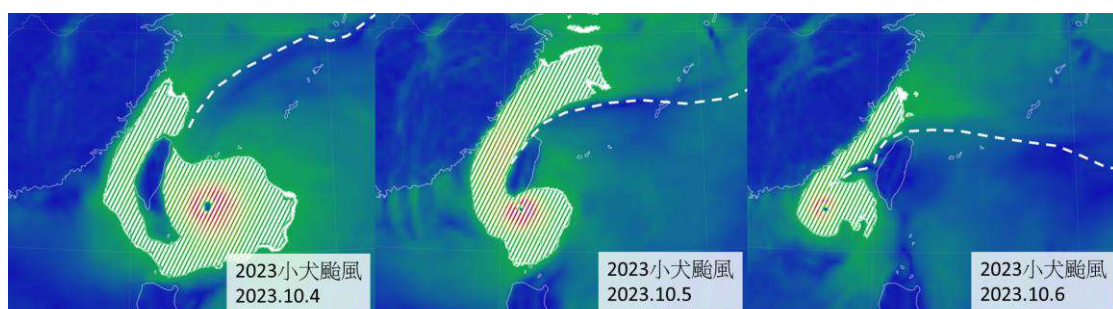
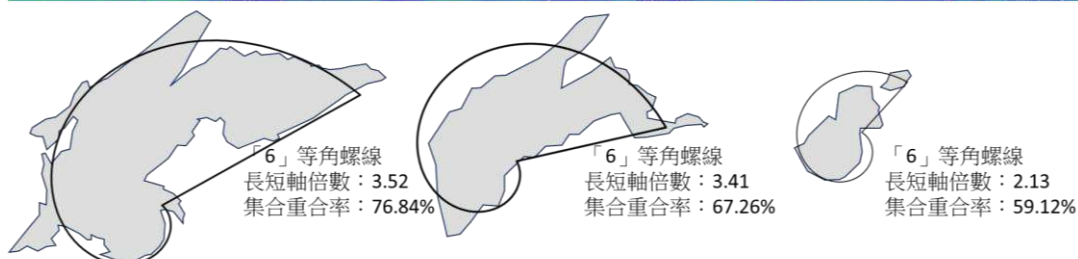
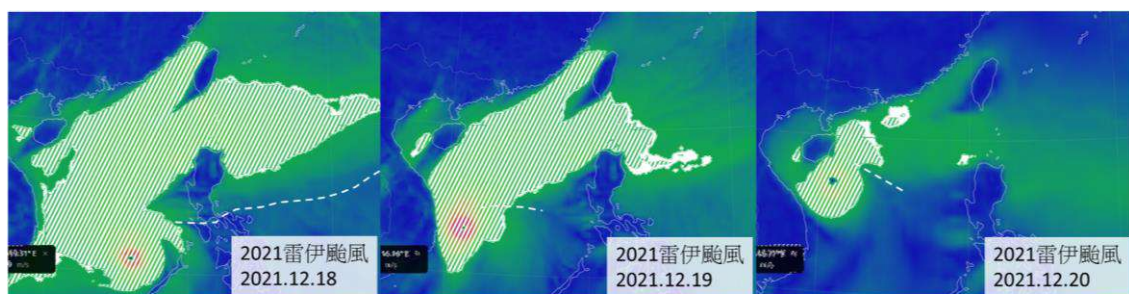
長短軸倍數：2.44
集合重合率：63.87%



長短軸倍數：1.94
集合重合率：66.10%



長短軸倍數：2.89
集合重合率：68.12%

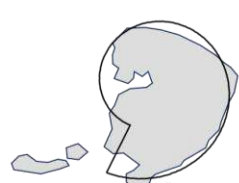
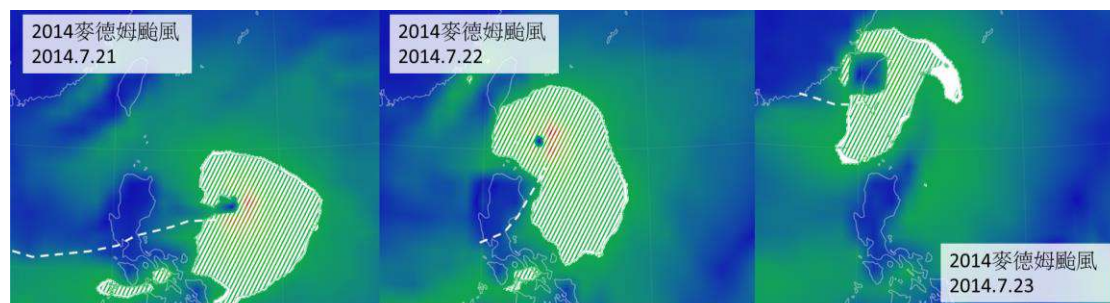


(作者改繪自 Earth Nullschool 風場圖)

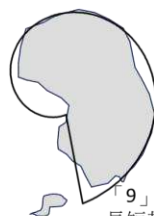
本研究發現：

1. 受到東北季風共伴、或東北季風比西南季風顯著，或受台灣海峽狹管效應影響，會使風場呈現「6」字等角螺線形。
2. 主要發生在 10 月～12 月，東北季風開始影響台灣，輻合帶的西側風速通常較快，東側慢，導致颱風的風場不對稱更加明顯。
3. 此類颱風風場「西寬東窄」、「北寬南窄」。
4. 颱風風場的集合重合率可達到 70% 以上，有地形因素影響，重合率會下降。

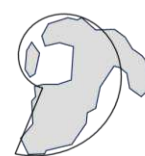
(二) 西南季風影響顯著的颱風－「9」形（或s形）



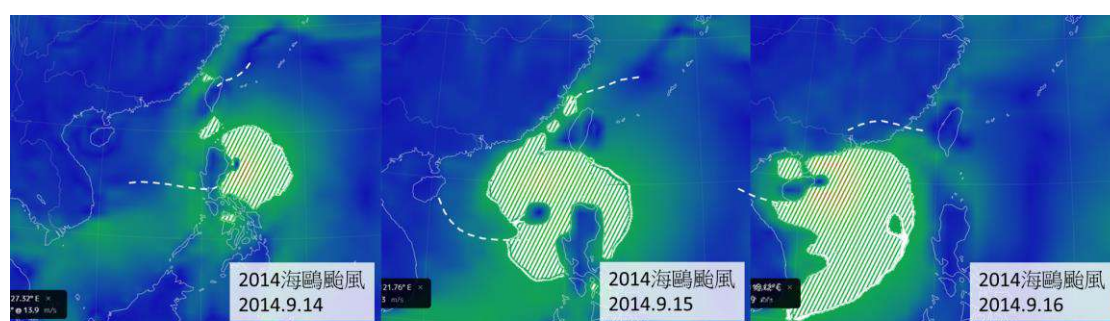
「9」等角螺線
長短軸倍數：1.92
集合重合率：77.73%



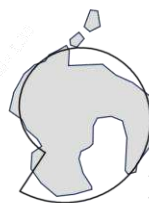
「9」等角螺線
長短軸倍數：2.00
集合重合率：83.65



「9」等角螺線
長短軸倍數：1.90
集合重合率：59.14



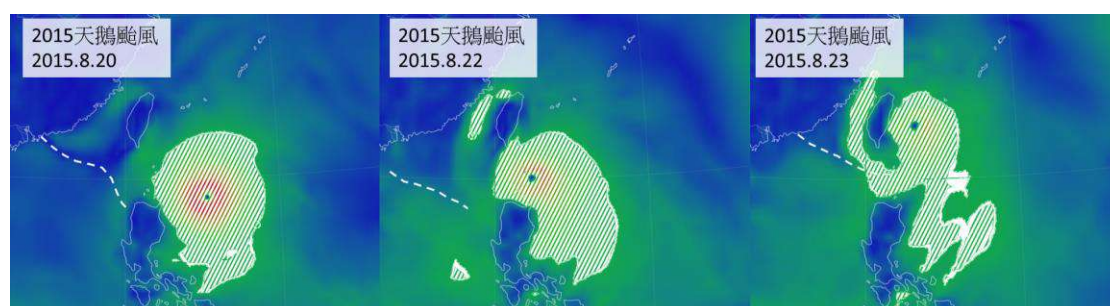
「9」等角螺線
長短軸倍數：1.29
集合重合率：80.75%



「9」等角螺線
長短軸倍數：1.39
集合重合率：68.31%



「9」等角螺線
長短軸倍數：1.55
集合重合率：73.36%



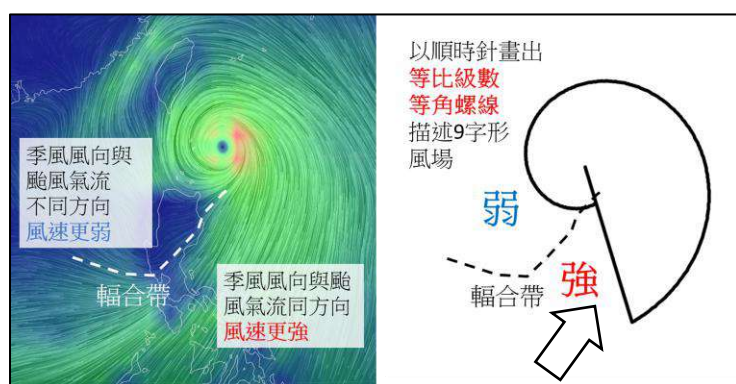
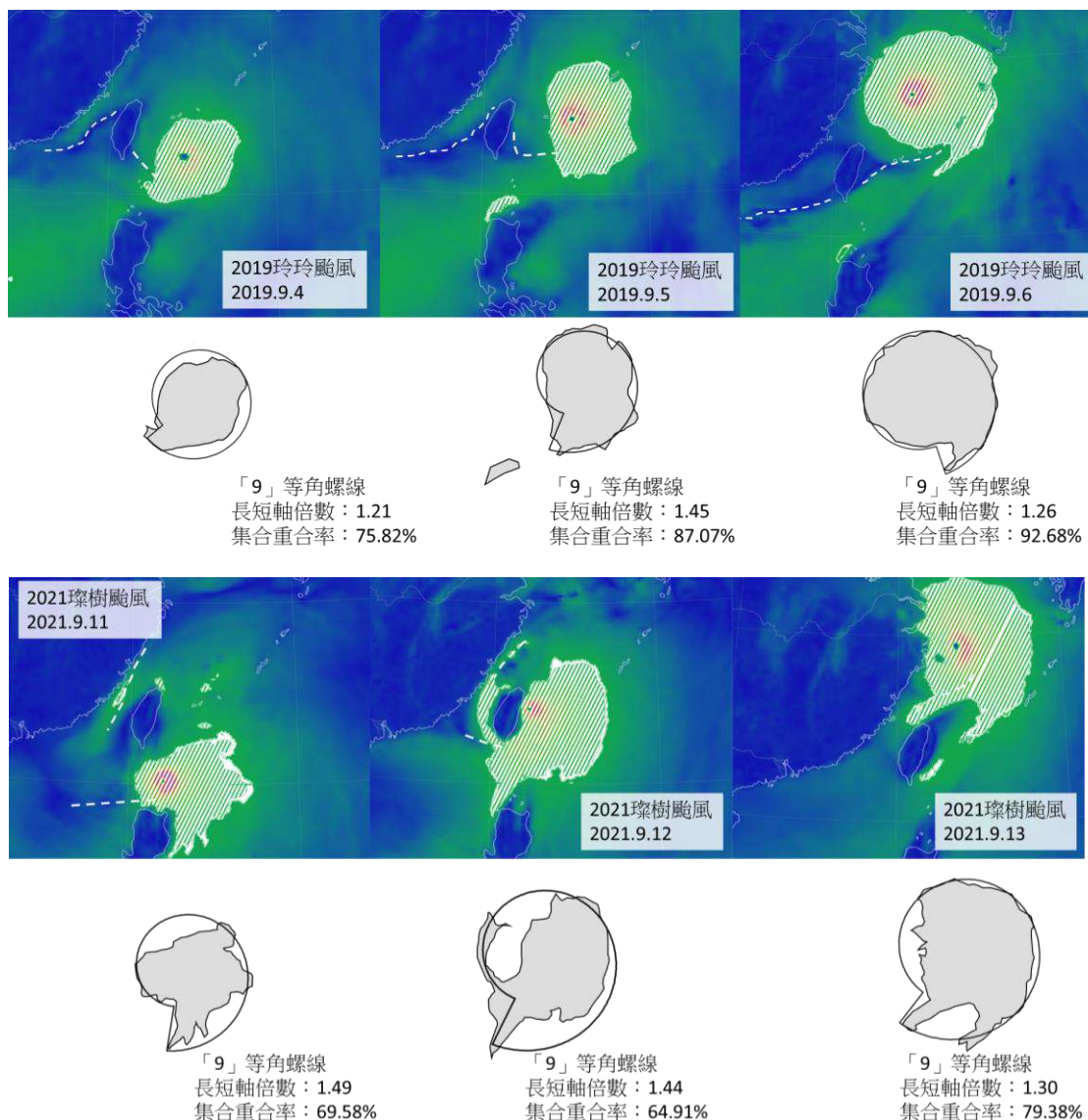
「9」等角螺線
長短軸倍數：1.47
集合重合率：73.71%



「9」等角螺線
長短軸倍數：2.35
集合重合率：83.46%



「9」等角螺線
長短軸倍數：2.35
集合重合率：57.08%

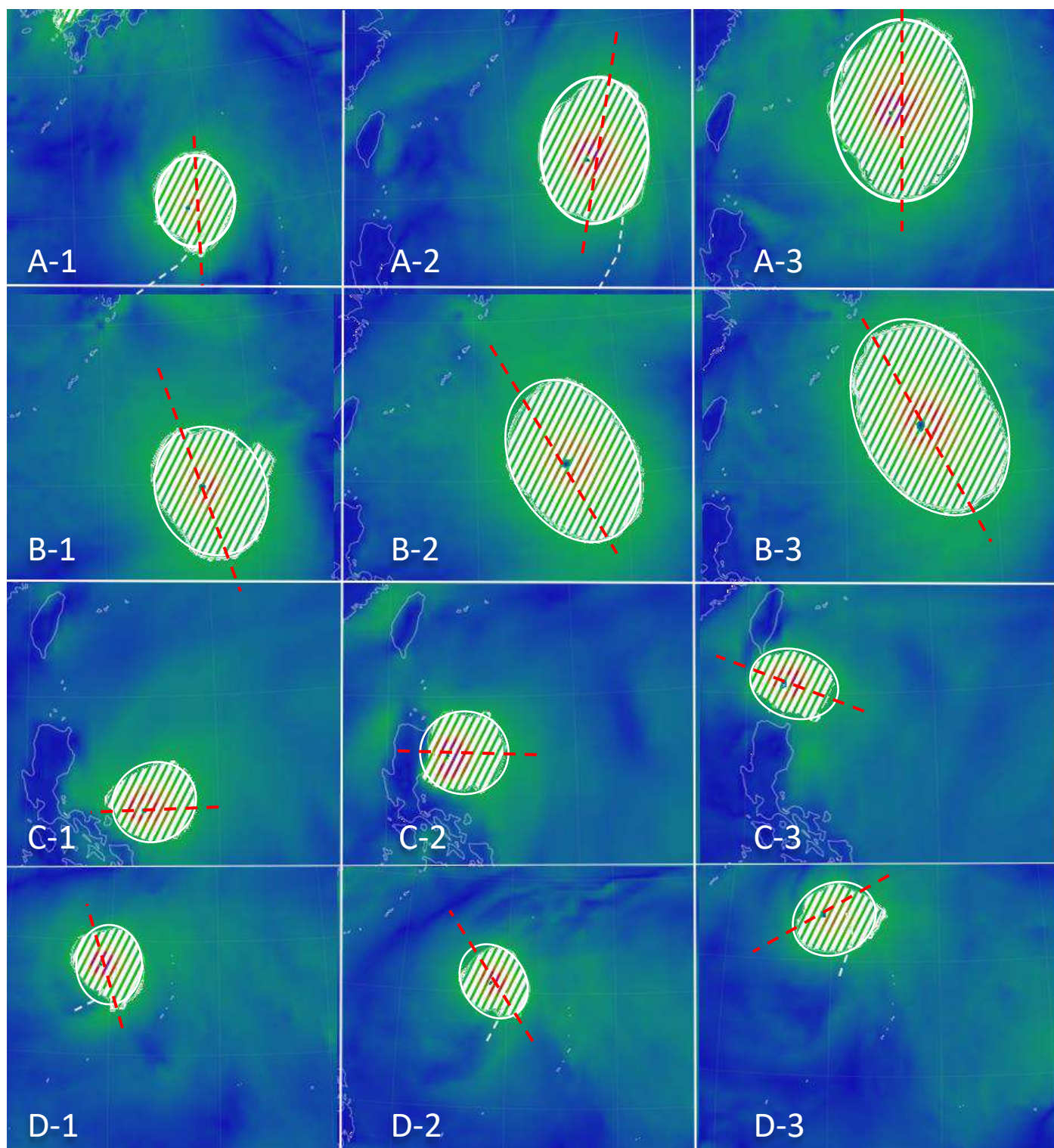


(作者改繪自 Earth Nullschool 風場圖)

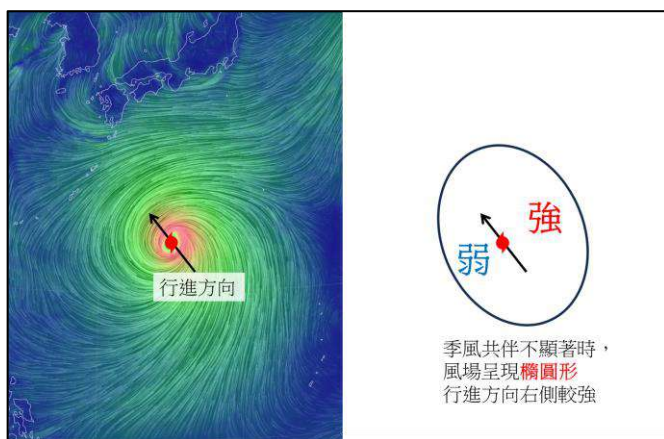
本研究發現：

1. 受到西南季風共伴、或西南季風比東北季風顯著，或受台灣海峽狹管效應影響，會使風場呈現「9」字等角螺線形。
2. 主要發生在 7 月～9 月，此時期為台灣夏季西南季風影響時間，輻合帶的東南側風速通常較快，西側慢，導致颱風的風場不對稱，但不如東北季風般明顯（風速較弱）。
3. 風場多呈現「東寬西窄」、「南寬北窄」。
4. 有時從台灣東方北上的颱風其輻合帶會被台灣截斷成兩條，例如玲玲颱風 9/4、9/5。
5. 颱風風場的集合重合率可達到 70% 以上，有地形因素影響，重合率會下降。

(三) 無季風互動，範圍較小，或受季風影響較小的颱風—多呈橢圓形



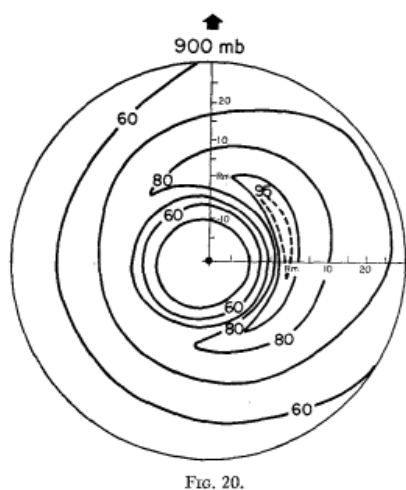
編號	颱風名稱／日期	風場長短軸倍數／集合重合率（％）		
A-1～A-3	2020 海神 09.03、04、05	1.12／88.10%	1.28／89.88%	1.30／90.96%
B-1～B-3	2021 蒲公英 09.27、28、29	1.15／86.95%	1.37／93.10%	1.45／91.19%%
C-1～C-3	2015 紅霞 05.09、10、11	1.04／90.90%	1.06／85.58%	1.31／84.96%
D-1～D-3	2015 白海豚 05.17、18、19	1.21／85.79%	1.25／85.71%	1.21／83.68%



(作者改繪自 Earth Nullschool 風場圖)

本研究發現：

1. 無季風共伴，或季風影響不明顯的颱風，形狀多呈橢圓形，長短軸倍數約 1~1.4 倍之間，重合率也都達到 80% 以上。
2. 這類颱風有的在離陸地較遠的中太平洋，或發生的時間地點沒有顯著季風系統影響，因而呈現橢圓形。



(Shea&Gray, 1973)

根據 Shea&Gray 的文獻指出，颱風行進方向的右前方為危險半徑，左方為安全半徑，此結果與這類無季風共伴的颱風類似。

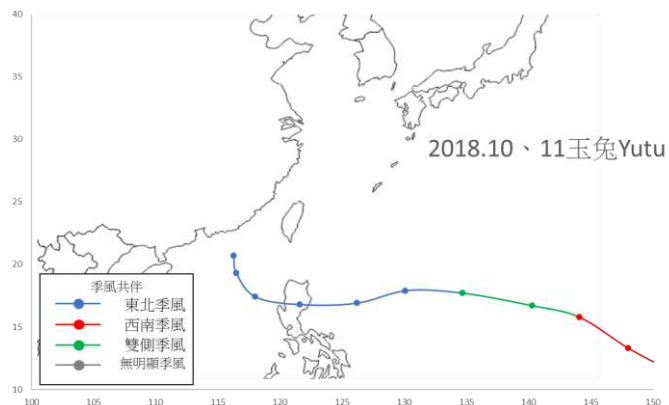
我們也分析了數個大西洋的颶風，發現風場常呈圓~橢圓形，可能因為大西洋的季風比較不顯著。

接著，因為颱風的生活史中，未必全程受到單一季風影響，我們也將颱風從出生到消亡的風場變化進行分析，並歸納流型變化趨勢。

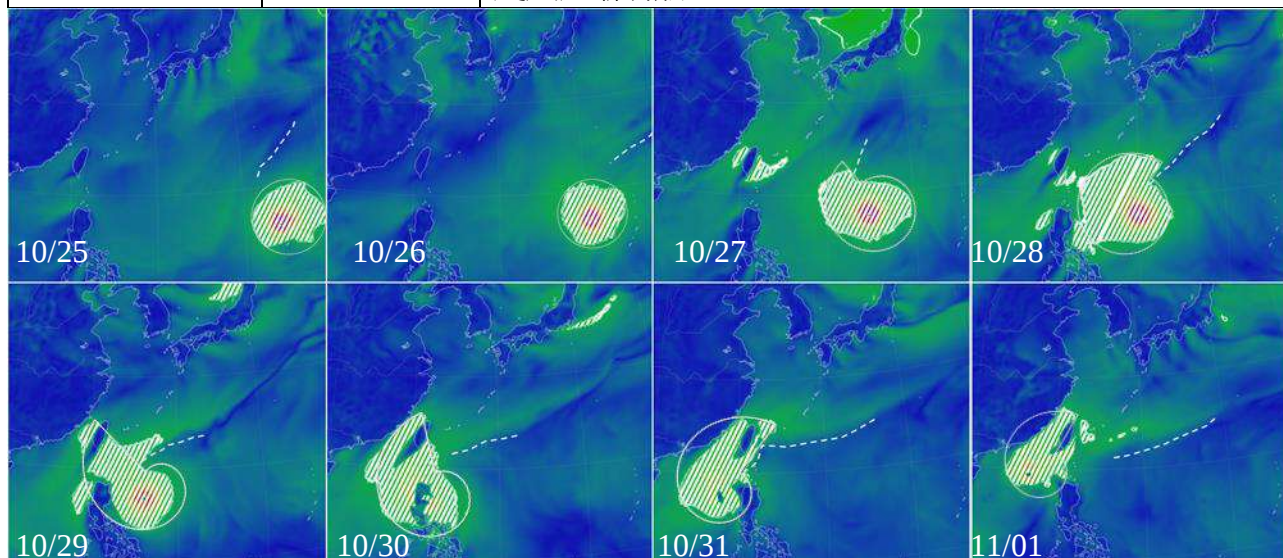
三、 研究颱風流型的變化趨勢

(一) 主要 6 字形

玉兔（2018/10/21~11/02）



日期	風場形狀	概述
10/24	0	颱風剛生成不穩定受西南風輕微影響。
10/25~10/27	0	颱風緯度升高，西南風影響消失，受到東北季風影響。
10/28~10/31	6	東北季風增強，風場 6 字形明顯。
11/01、11/02	0、?	颱風逐漸消散。



玉兔颱風 10/25~11/01 逐日七級風風場範圍（斜線部分）及本研究分類流型（白色實線）

本研究發現：

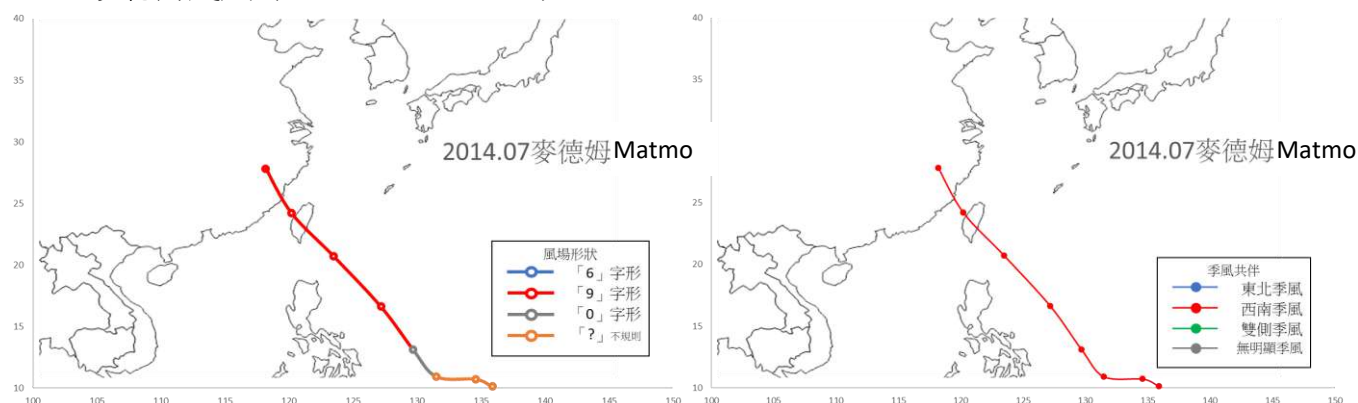
颱風在離東亞陸地較遠處生成，初期可能受到些微西南風影響，呈現南側大的橢圓形，不明顯的「9」形。向東亞陸地靠近，東北季風影響漸增，使風場的北側增大，多呈「6」形。

相似案例

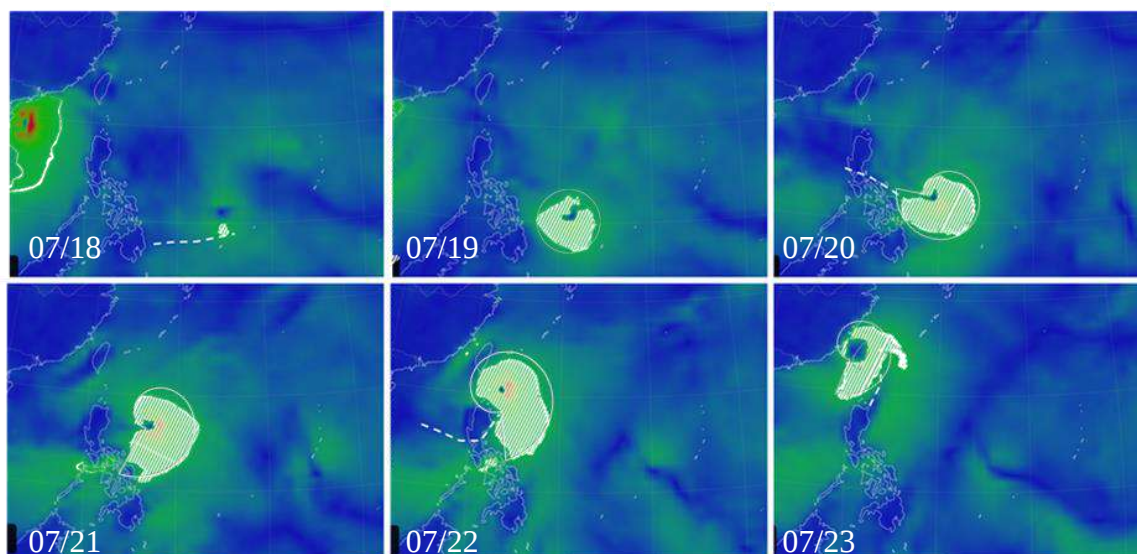
2018 康芮、2019 北冕、2022 尼莎

（二） 主要 9 字形

麥德姆颱風（2014/07/17～07/24）



日期	風場形狀	概述
07/17～18	?	颱風剛形成，風速弱達到七級風的區域較少，不規則。
07/19	0	風速達到七級風的區域較變多，橢圓形。
07/20	9	西南季風影響變大，風場開始呈「9」形。
07/21～23	9	結構穩定，且持續受西南季風影響，「9」形。



麥德姆颱風 07/18～07/23 逐日七級風風場範圍（斜線部分）及本研究分類流型（白色實線）

本研究發現：

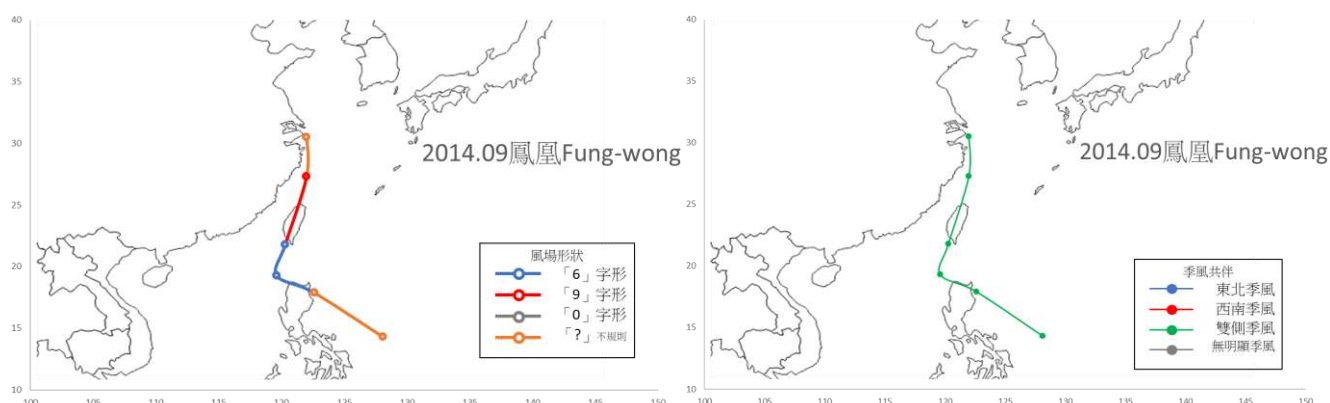
夏季颱風，生活史未受東北季風影響，且持續與西南季風共伴的颱風，在侵台或北上日本路徑的風場呈現「9」形，但西南季風較弱時，「9」形不易辨認，有時可能會呈現東側或南側較大的橢圓形。

相似案例

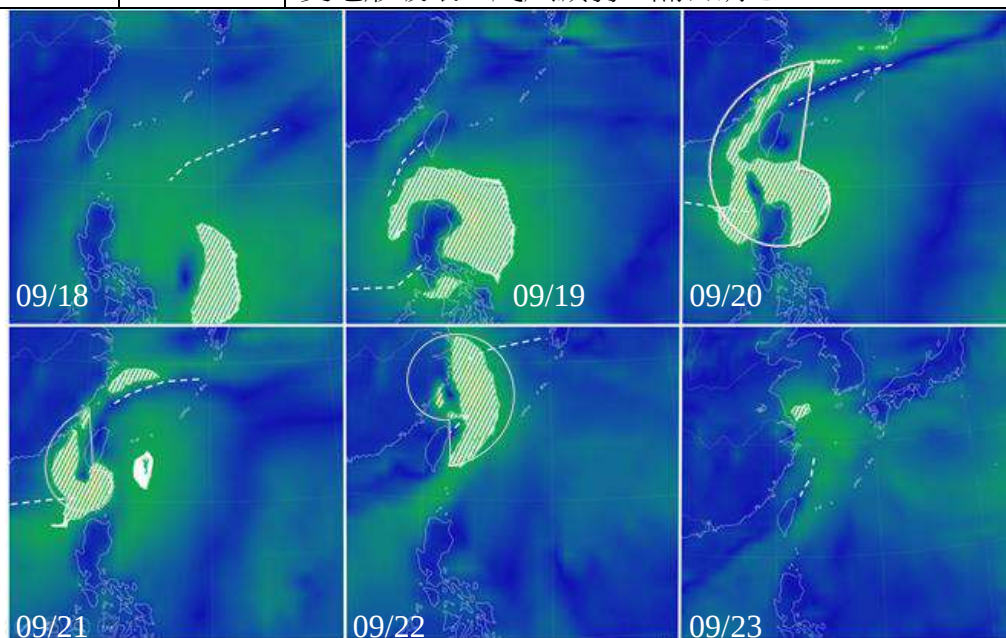
2015 天鵝、2015 蘇迪勒、2020 梅莎、2020 巴威

(三) 6字形→9字形

鳳凰 (2014/09/18~09/23)



日期	風場形狀	概述
9/16~9/18	?	颱風剛形成，結構還不穩定，目前東北季風影響較大。
9/19	?~0	此時與季風共伴明顯，東北以及南側皆出現一條輻合帶。
9/20~9/21	6	颱風受到狹管效應，東北側較強時，出現兩條輻合帶。
9/22	9	颱風北上，受地形破壞，西南季風增強，風場呈 9 字形。
9/23	?	受地形破壞，颱風減弱，隔日消亡。



鳳凰颱風 09/18~09/23 逐日七級風風場範圍（斜線部分）及本研究分類流型（白色實線）

本研究發現：

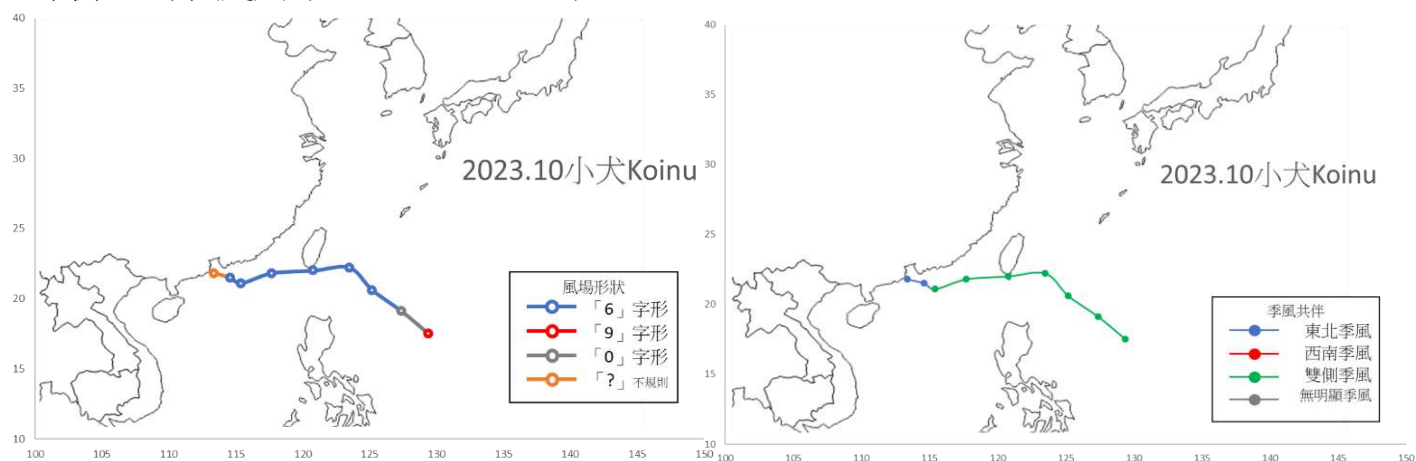
像是 2014 鳳凰颱風在台灣南側時，東北季風氣流加上狹管效應增強，導致風場呈現「6」形，隨著颱風北上來到台灣北部海面後，將西南季風帶起，風場轉為「9」形。

相似案例

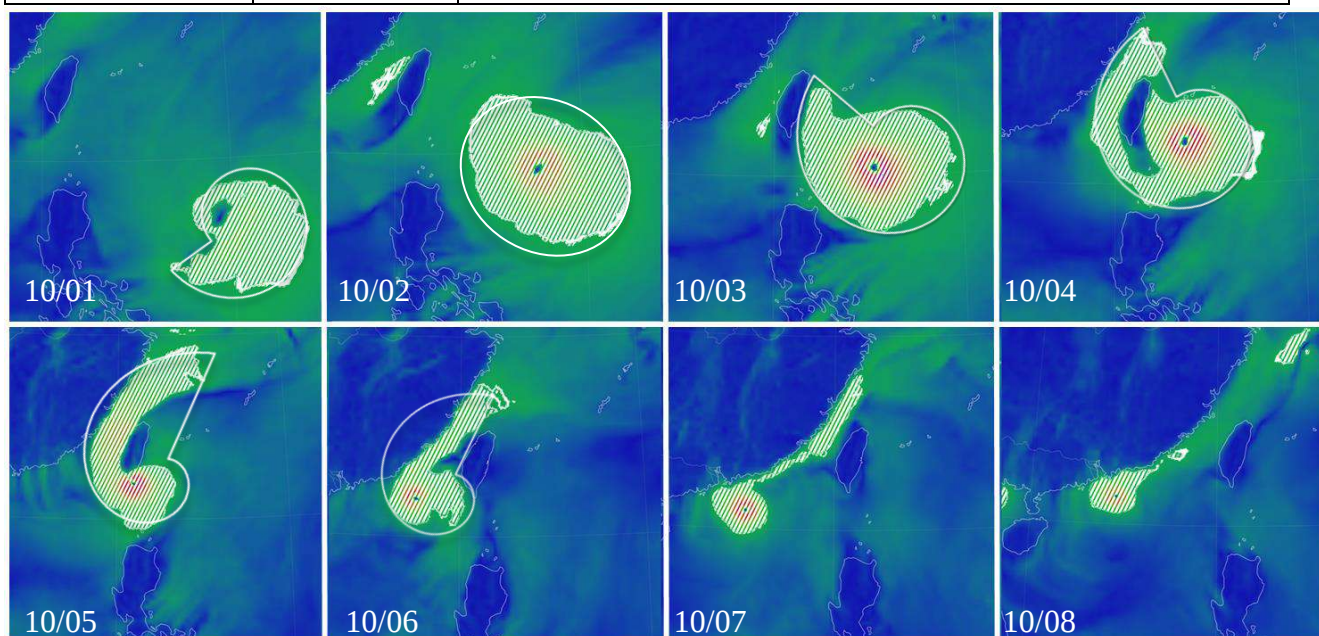
2022 軒嵐諾

(四) 9字形→6字形

案例 1：小犬颱風（2023/10/01～10/09）



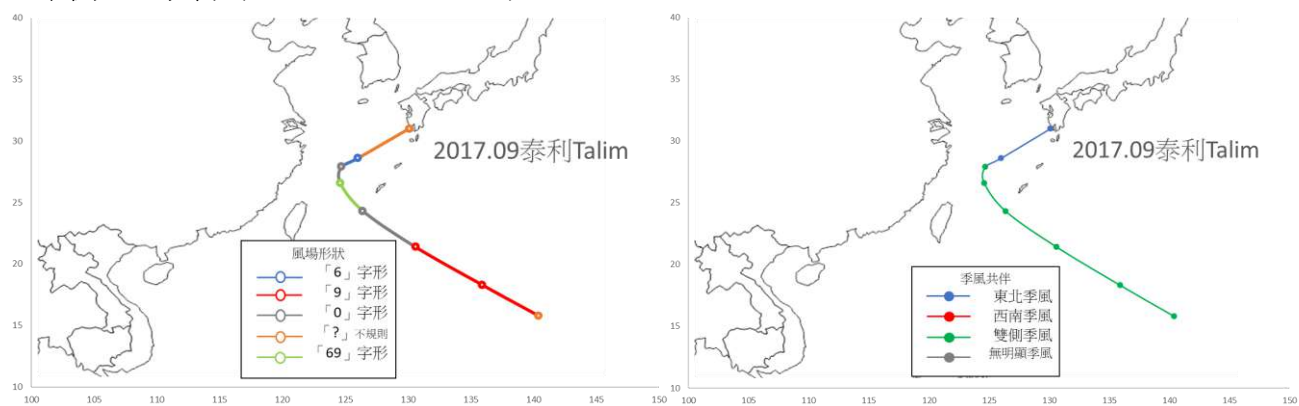
日期	風場形狀	概述
10/01	9	剛形成時，與西南季風互動。
10/02	0	西南季風影響變弱，東北季風影響漸增。
10/03～10/08	6	東北季風影響增加，台灣海峽出現狹管效應。
10/09	?	颱風減弱。



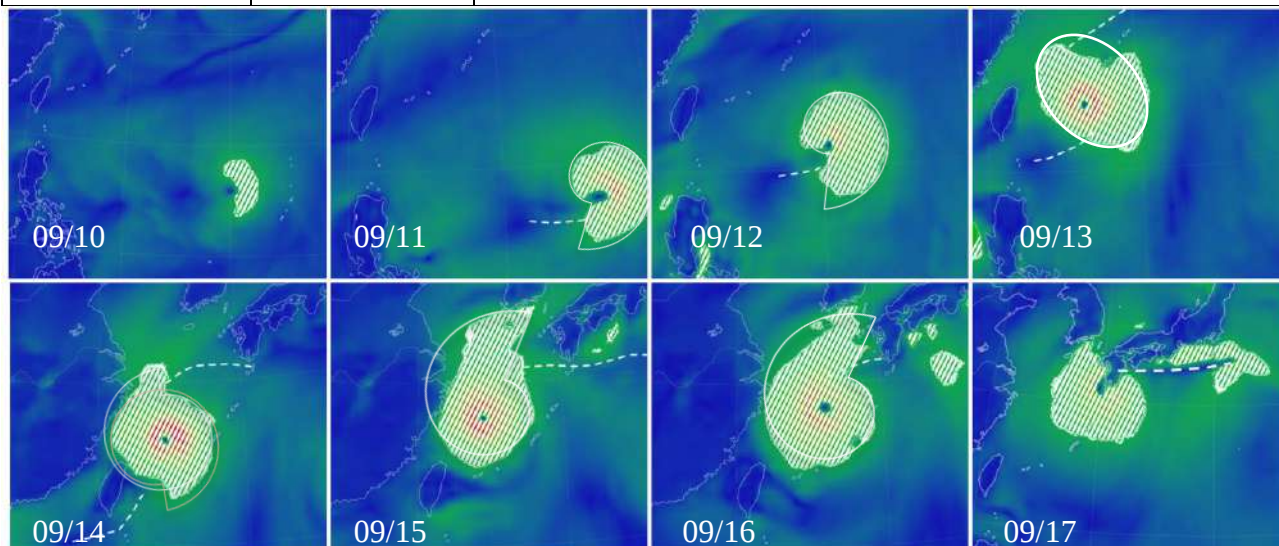
小犬颱風 10/1～10/8 逐日七級風風場範圍（斜線部分）及本研究分類流型（白色實線）
本研究發現：

小犬颱風由西南季風共伴「9」形轉為東北季風共伴期間，有時會先轉變成橢圓形，再轉變為「6」形，有些颱風轉變速度快，橢圓形可能不會持續超過一天。

案例 2：泰利（2017/09/09～09/17）



日期	風場形狀	概述
09/09、09/10	?	剛成形，受些微西南季風影響。
09/11、09/12	9	西南季風影響加大，風場有 9 字形，西南方非常小。
09/13	0	東北季風開始影響，來到台灣東側。
09/14	69	東北季風強度增加，七級風範圍呈現 69 形疊合。
09/15	6	西南季風減弱，東北季風影響增加。
09/16	6	東北季風影響。
09/17	?	侵入日本，風場不規則。



泰利颱風 09/10～09/17 逐日七級風風場範圍（斜線部分）及本研究之分類流型（白色實線）

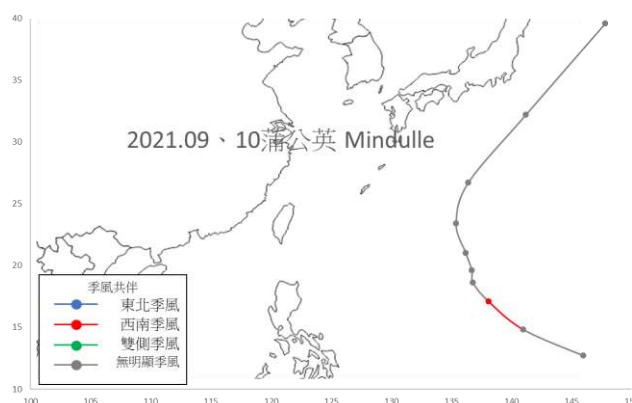
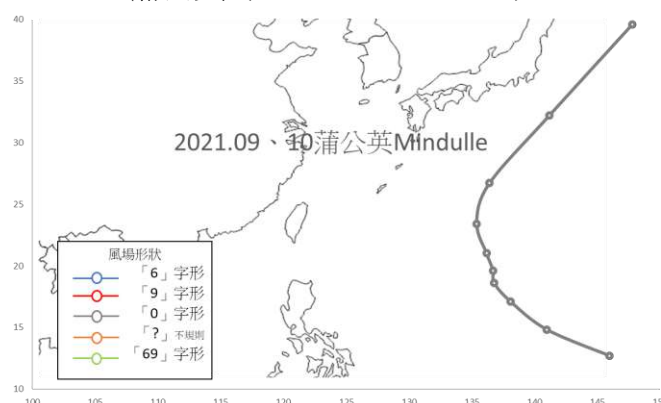
本研究發現：由「9」形轉變成「6」形的颱風會同時受到西南季風與東北季風的影響。颱風來到台灣北部外海時，風場會呈現橢圓形，例如泰利 09/15。颱風往上移動，東北季風影響加強，西南季風變弱，「6」形變得明顯，例如泰利 09/16。

相似案例

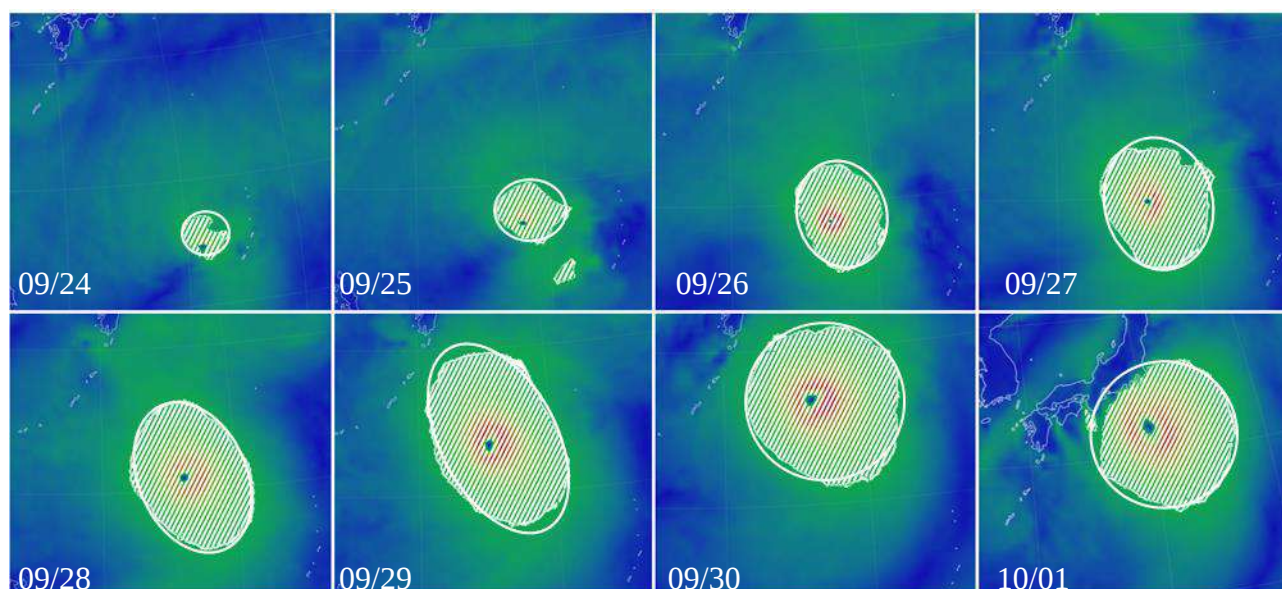
2016 梅姬、2017 蘭恩、2018 山竹、2023 海葵

（五） 主要橢圓形

蒲公英（2021/09/24~10/08）



日期	風場形狀	概述
9/24、25	0	剛形成，受些許西南風影響。
9/26、27	0	西南風增強，路徑沿著太平洋高壓邊緣
9/28~30	0	西南風消失，捲入東風。
10/01	0	受到日本影響，西北方小。
10/02	0	轉化成溫帶氣旋。



蒲公英颱風 09/24~10/01 逐日七級風風場範圍（斜線部分）及本研究分類流型（白色實線）

本研究發現：

無共伴的颱風通常都生成於 140°E 以東，較不受季風影響的地方，所以風場的螺旋形並不明顯，常呈現橢圓形。在 Shea, J. & Gray, M.的報告中提到，受駛流場影響，颶風行進方向的右側會較大，與無共伴颱風的風場類似。

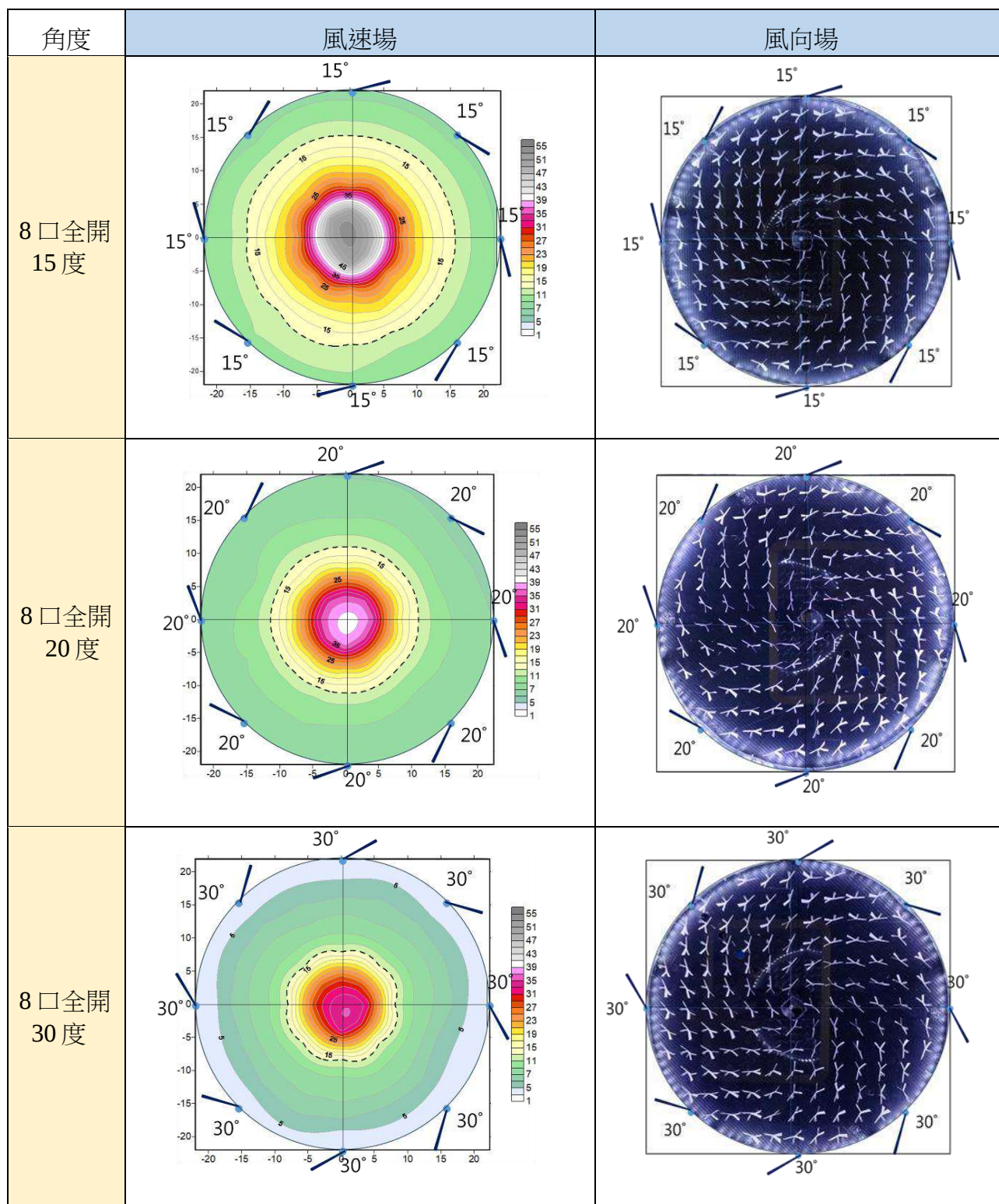
相似案例

2015 白海豚、2020 海神

四、 颱風氣流場實驗模擬

(一) 理想型颱風（對稱）

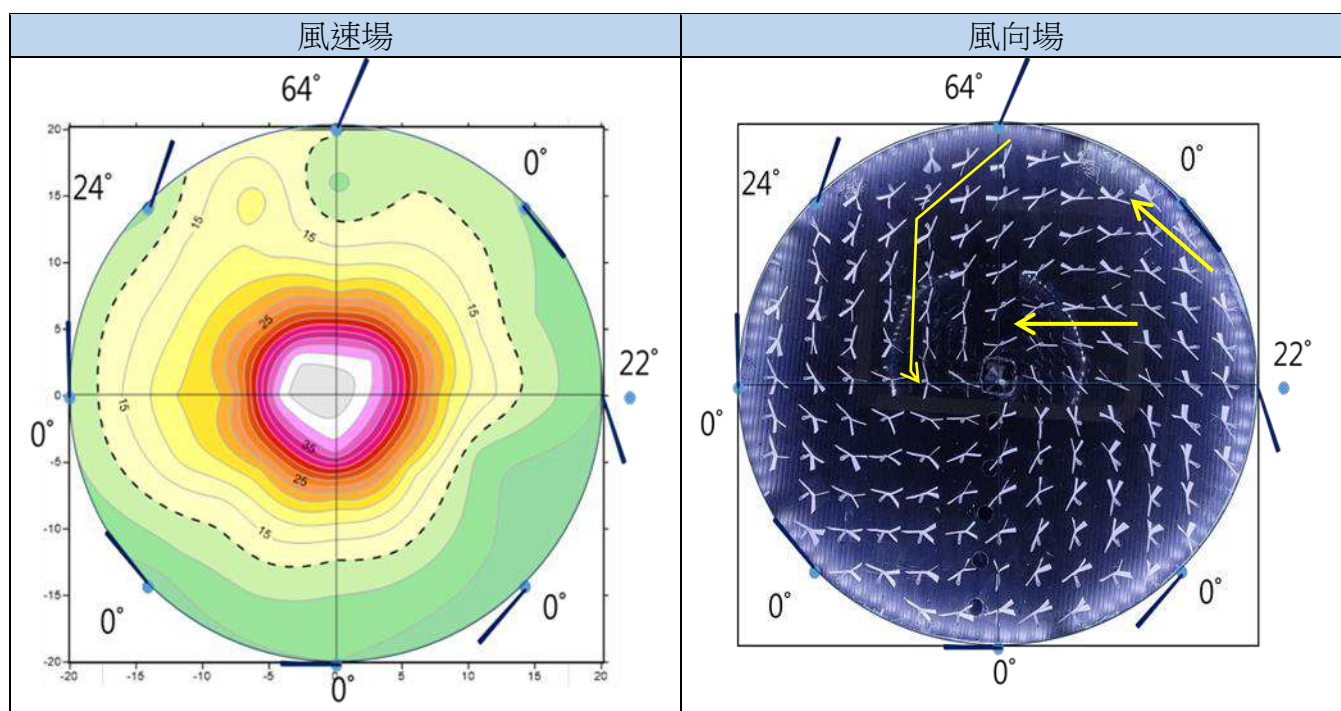
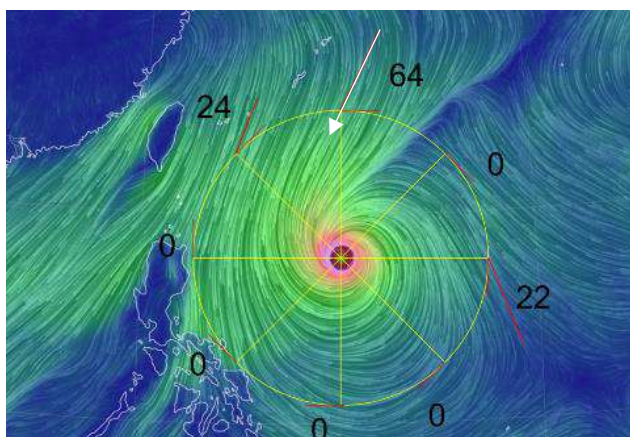
1. 探討氣流進入角對風場之影響



本研究發現：當氣流進入角度皆**相同**時，風場對稱呈橢圓形，且**角度越小**風速愈**強**、風場範圍也愈**大**，角度愈大則反之。

(二) 受季風影響的實際案例模擬

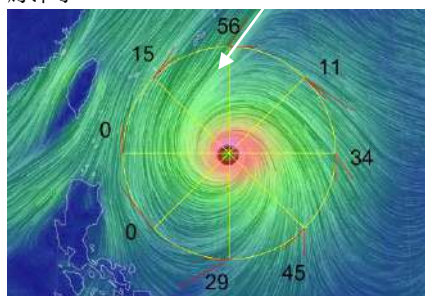
1. 東北季風共伴案例 2018.10.28 玉兔



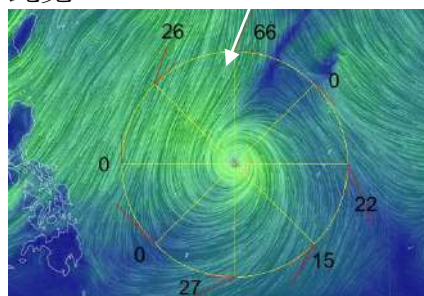
本研究發現：以實際颱風氣流進入角，模擬東北季風共伴的颱風，風場呈現「北寬南窄」、「西寬東窄」，風速場呈「6」字形，風向場輻合帶位於颱風中心的北側，與實際情形相似。

其他東北季風共伴案例（北側有東北季風，氣流進入角都比較大、風速也較強）

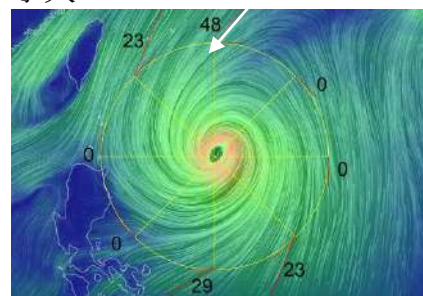
康芮 2018.10.03



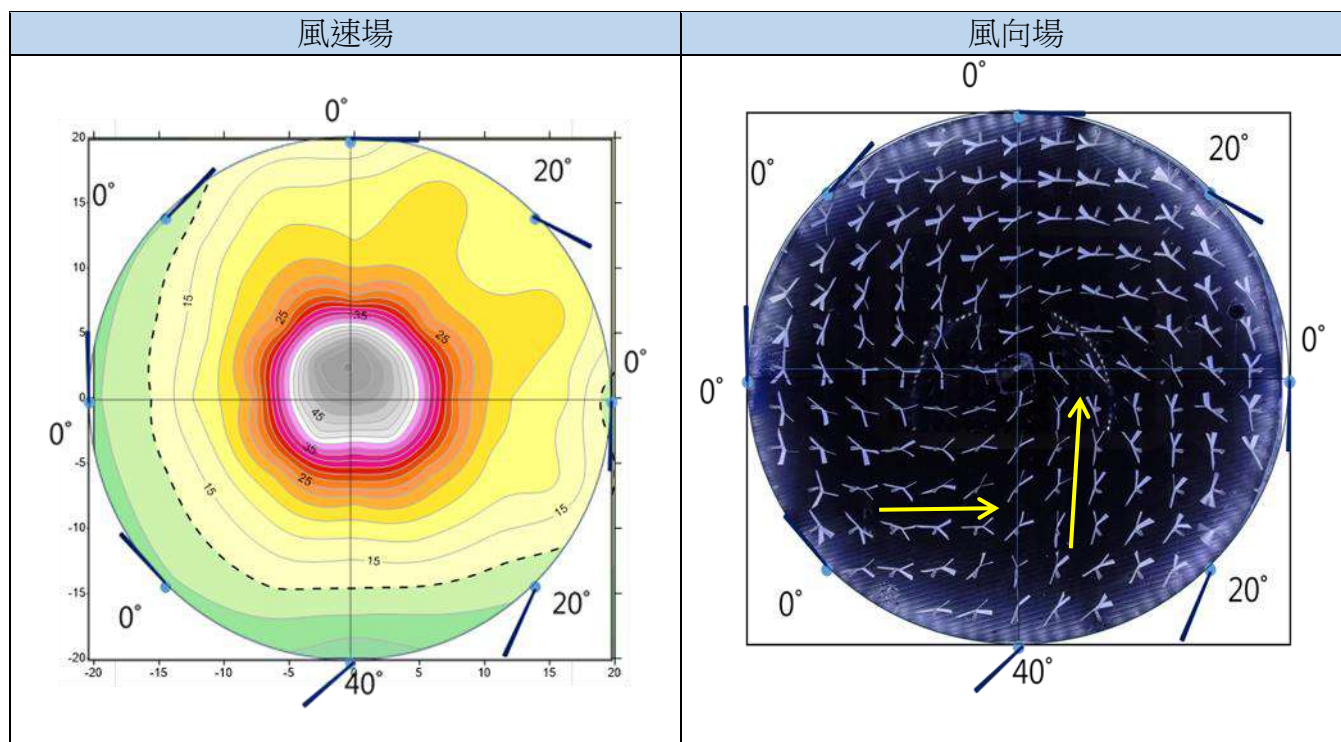
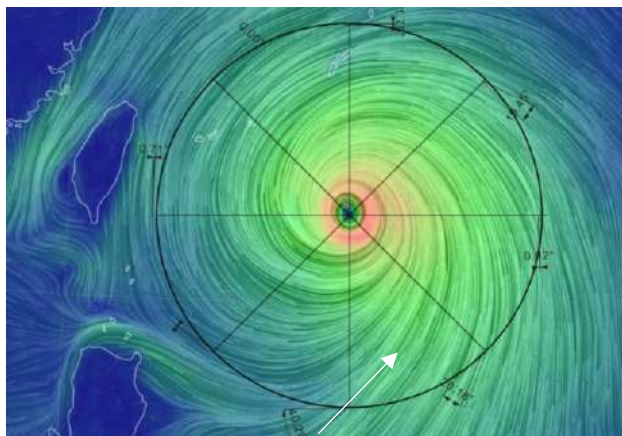
北冕 2019.11.29



小犬 2023.10.2



2. 西南季風共伴案例 2020.08.31 梅莎

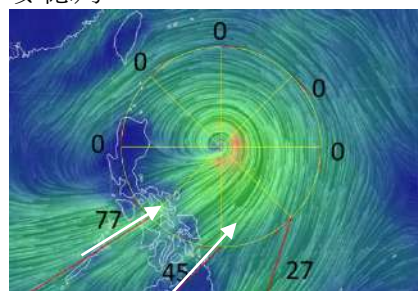


研究發現：風速場呈「東寬西窄」，因為西南季風是由三股氣流合流而成，影響範圍大，普遍南側氣流進入角都較大，因此導致模擬時，氣流匯聚使東北側風速最強。

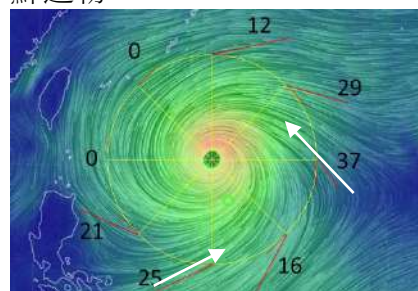
其他西南季風共伴案例

（西南、南或東南側有西南季風，氣流進入角都比較大、但不像東北季風集中

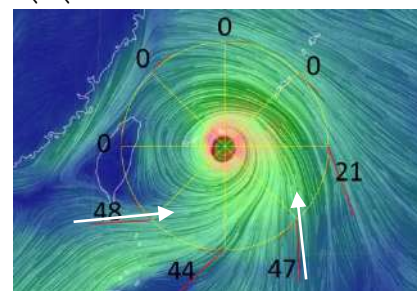
麥德姆 2014.07.21



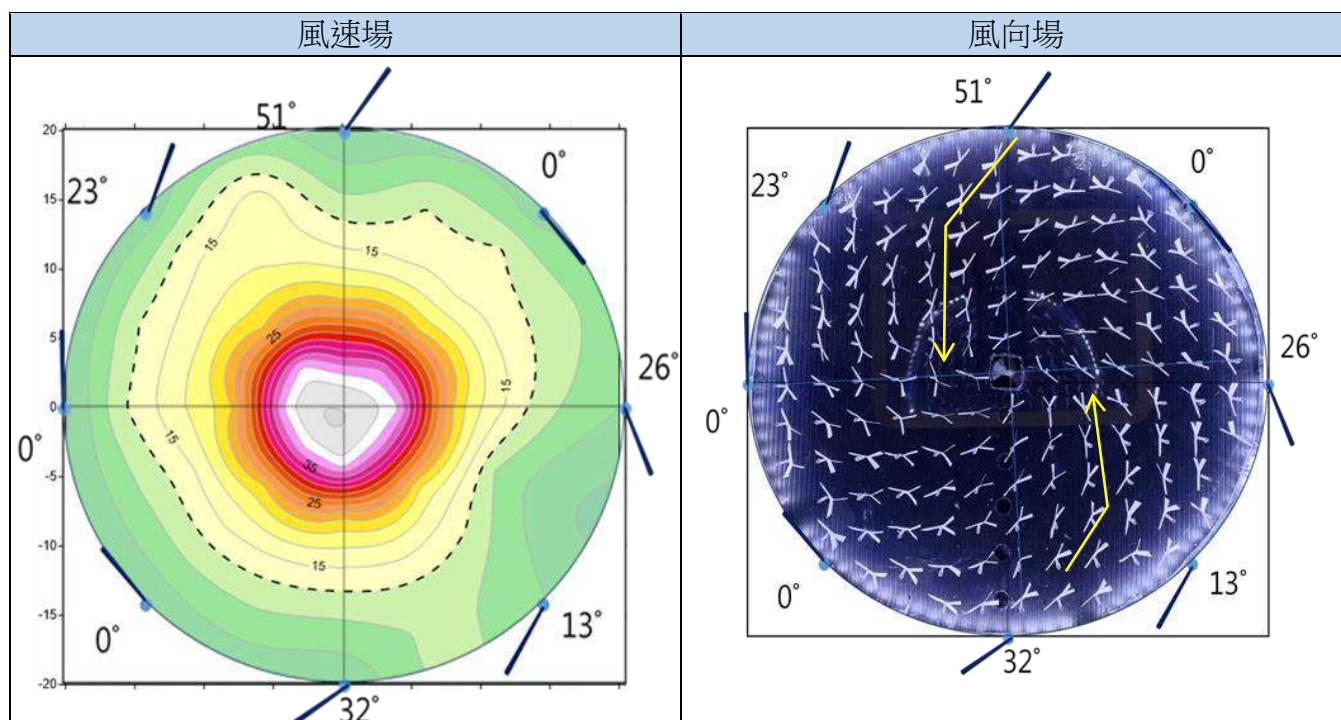
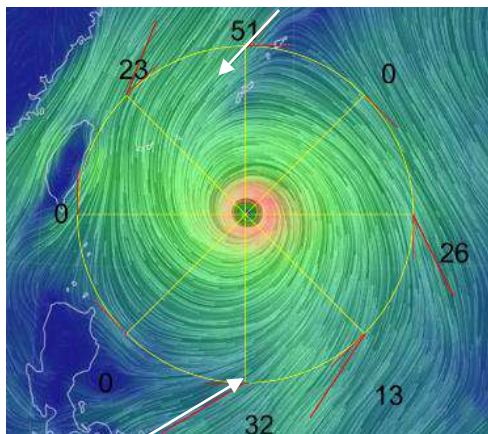
蘇迪勒 2015.08.06



玲玲 2019.09.05



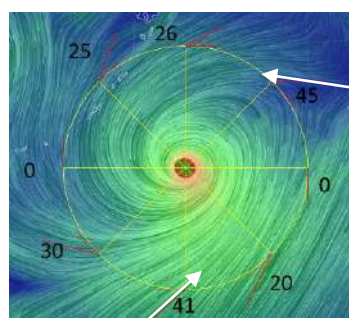
3. 東北與西南季風均共伴案例 2015.09.26 杜鵑



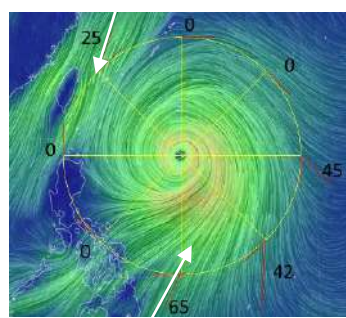
本研究發現：風速場不對稱，北側及南側風速較快，與西南季風共辦原因相同，導致東北側風速快，風向場輻合帶位於颱風中心的北側及南側。

其他案例，若同時有東北季風及西南季風影響，風速較強的季風會主導風場形狀

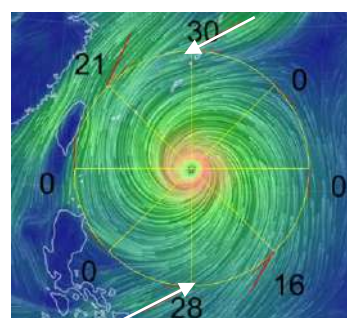
獅子山 2016.08.27



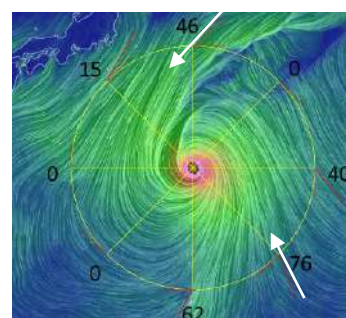
蘭恩 2017.10.20



潭美 2018.09.27



布拉萬 2023.10.13



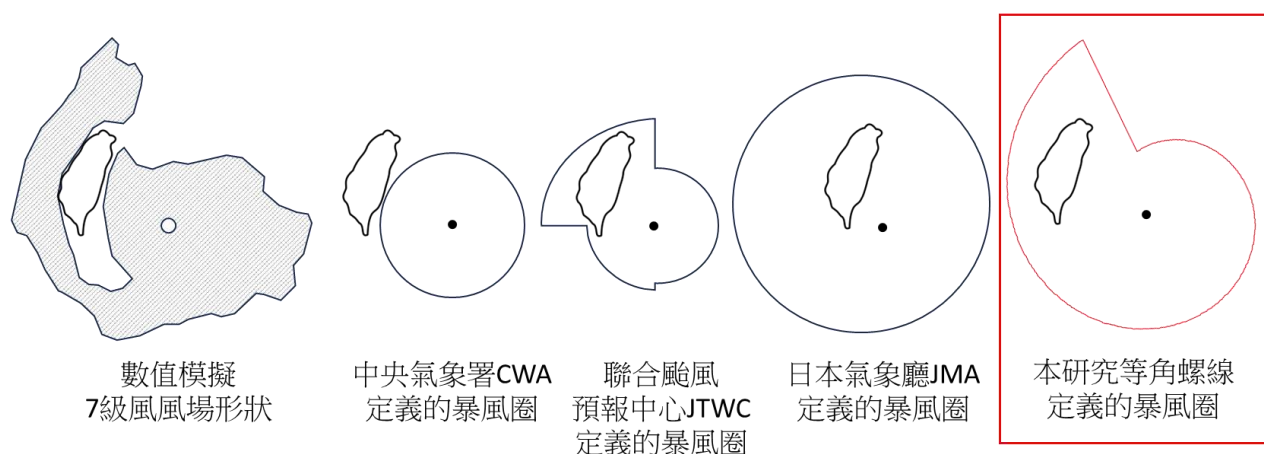
肆、討論

一、颱風風場的不對稱性與各國預報差異

學界普遍認同颱風風場的不對稱性，各國對暴風圈的預報方式也反映了這一特點。我國中央氣象署（CWA）以正圓形描繪暴風圈，以達七級風的 10 分鐘平均風速來計算四個象限的平均半徑，暴風圈範圍相對較小且中心位於圓心。日本氣象廳（JMA）則以橢圓或正圓來呈現風場形狀，範圍是達七級風的「可能區域」，因此暴風圈較大，且颱風中心不一定位於圓心。美軍聯合颱風預警中心（JTWC）將暴風圈分為四個象限，各自標示 34kts 的每分鐘平均風速達到的半徑，因此範圍較大。

	預報方式	優點
台灣 CWA	使用 10 分鐘平均風正圓，再附註說明四象限	暴風圈最小，但是這個範圍內風力非常具有破壞力
美國聯合颱風預警中心 JTWC	使用 1 分鐘平均風速達到八級風的範圍，暴風圈分成四個象限	全世界無論有無季風都適用
日本 JMA	半徑為「有可能」達到七級風的範圍，因此預報風場較大。	在平坦的海面上提供預警

以上顯示各國在颱風預報中，均考量到季風或地形帶來的風場不對稱性，然而並無統一的形狀或標準來定義暴風圈，且暴風半徑是個很模糊的概念，各預報單位的詮釋也不同。為此，我們希望以「比較接近颱風結構」特徵的方式，以螺旋方式定義颱風暴風圈。

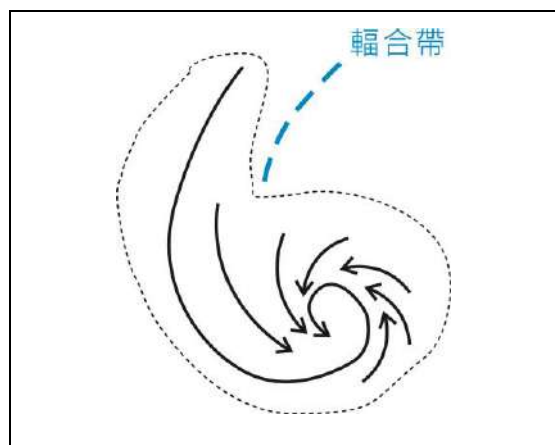


圖六、各國氣象預報暴風圈（作者自行繪製）

二、季風共伴下的風場形態

在「颱風選美三類型大 PK（林偉文，2016）」研究中提到，颱風的雲層是以螺旋方式向外延伸，分成「6」、「9」、「0」三種雲型，我們假設：颱風的風場應該也以螺旋方式呈現。颱風的結構本身為螺旋形，因此我們希望可以找到數學幾何圖形的方式來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、颱風等。我們使用 Excel 繪製等角螺線，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，若未受季風共伴、或太弱的颱風，螺旋形狀可能較不明顯。

接近東亞地區的颱風常受季風共伴影響並造成風場不對稱，當颱風遇見季風時，季風帶來的強風會造成颱風一側加強，另一側會被季風削弱，形成兩側大小不一。在分析結果裡，可以得知夏季的颱風數量較其他季節多，並且多受到西南季風共伴，南側和西側被加強，風場較大，東側和北側被減弱，整體形狀接近「9」形。冬季颱風大多是受東北季風共伴影響的颱風，形狀多為北寬南窄，西寬東窄，有以上特徵者歸類為「6」字形，時常發生在 9 月~翌年 2 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」形等變化。



以等角螺線定義風場，首先要確認輻合帶位置，因為輻合帶的一側因颱風本身環流與季風順向，風速加快，另一側則是颱風環流與季風逆向，風速變慢，再定義颱風長短軸便能畫出螺旋，這對於季風影響顯著的颱風有不錯的描述成果，但限制是地形破壞的颱風、太弱的颱風、無明顯季風共伴的颱風，螺旋形狀則較不規則。

圖七、風場、輻合帶示意圖（作者自行繪製）

本研究發現：東亞地區屬於季風氣候帶，此地區約有 84% 的颱風與季風共伴。西南季風共伴的颱風約佔颱風總數的 38.4%、東北季風共伴颱風約 22.6%、東北與西南季風均共伴約 23.5%；無共伴僅 15.8%，其中，東亞地區的季風氣候特徵使此地區的大多颱風與季風發生共伴，也是造成東亞地區颱風不對稱的主因。我們可以用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，颱風因受駛流場影響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) 的研究類似，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，為此我們也有分析大西洋的颶風，例如 2023 年的「富蘭克林」颶風，可能由於 5 級颶風，生活史大部分呈現圓形，僅有一天適用於等角螺線的畫法，推測主因為當時大氣環境盛行東北信風所致。

在前件作品—雙『風』對決，勢『伴』功倍（林伯羽等，2024）中，雖然提到了颱風風場的不對稱性及螺旋式風場，但因為颱風的生活史中，未必全程受到單一季風影響，我們也將颱風從出生到消亡的風場變化進行分析，並歸納出流型變化趨勢。

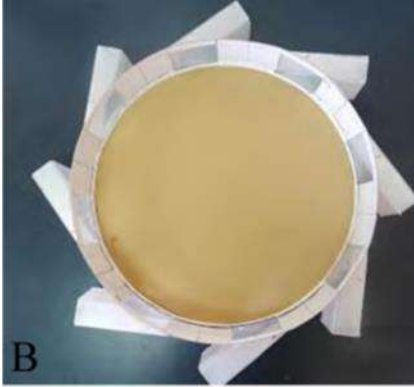
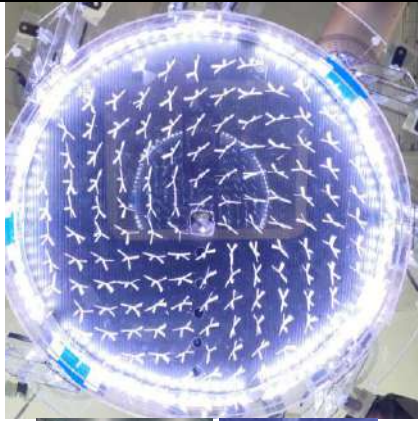
我們發現：幾乎所有颱風剛生成時，形狀通常不規則，隨著颱風強度發展，開始變得橢圓並與季風產生互動，最後登陸或減弱時，風場又變得不規則。我們分析許多颱風出生到消散的風場形狀，簡單可分為：大多 6 字形、大多 9 字形、一開始 6 後來變 9 字形、一開始 9 後來變 6 字形、大多呈橢圓形等變化趨勢。

颱風生活史中，風場主要「6」形的颱風，大多受到東北季風共伴、東北季風強度比西南季風強，或受地形效應導致，有時「6」形不明顯，本研究會以西側大於東側、北側大於南側來判斷。若是颱風生活史中主要受西南季風共伴，或西南季風強度比東北季風強，有時「9」形並不明顯，本研究會以東側大於西側、南側大於北側來判斷。

風場從「6」形→「9」形的颱風，通常在緯度低時，便受東北季風或台灣海峽狹管效應影響，颱風風場呈現「6」形，當颱風北上，將南方西南風帶上來，又使風場變成「9」形。另一種「9」形→「6」形，此類型的變化大多發生於雙季風共伴下的颱風，路徑由低緯度向高緯度移動，颱風風場初期呈現橢圓形或是「9」形，越往上移動或是東北季風強度增強，形狀越容易轉變為「6」形。

三、颱風風場模型及流型模擬

因為數值預報是由電腦執行運算，無法具體得知我們的想法、實踐方法或結果是否正確，為此決定設計實驗驗證結果。本研究的實驗裝置參考前人科展作品「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（黃玉涵等，2024）」研發的氣流場裝置加以改良，提升裝置的密合度，本研究也將入風口改良成可調整角度，並在風場內放置微型風標以觀察風向及輻合帶，本研究更將前作品（林伯羽等，2024），原先的 80 個微型風標增加至 161 個，模擬精度更高。

歷年科展，氣流場模型演變		
颱風氣流場模型 (莊詠軒等，2018)	颱風氣流場模型 (黃玉涵等，2024)	本研究颱風氣流場模型
 紙蛋糕盒製作 以熱線式風速計測風速	 氣流場內添加保麗龍沙、台灣型障礙物， 可觀察邊界層現象	 氣流進入角可調整角度 並加入 161 個微型風標觀察

本研究分析了實際颱風的風場及等壓線圖，發現颱風八個方向の入風角度並不相同，且等壓線圖呈現出明顯的不對稱性，等壓線越密集，氣流的進入角度越大，風速也相對強勁，相對而言，等壓線疏鬆的區域氣流進入角度較小，此外，受季風影響的氣流進入角度普遍較大。基於以上觀察，我們希望發展出可調整風向的引流板，透過調整入風口的角度，這一設計將能模擬不同渦度的颱風不對稱性，甚至複雜的颱風環境風場。

本研究發現：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。同時也發現風向場的外圈角度較大，近中心處角度較小，推論可能可以用科氏力解釋，低緯度地區的科氏力較弱，因此風的偏轉較少，氣流進入的角度較大，這使得氣旋的成長變得困難，相對而言，高緯度地區的科氏力較強，風會有較大的偏轉，氣流的進入角度較小，這樣情況更容易促成氣旋的形成。

模擬東北季風共伴時，我們分析了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，我們分析了實際案例的八方位氣流進入角，發現南側、東南側的氣流進入角度通常較大，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。

模擬東北與西南季風均共伴時，我們分析了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。

由上述案例可得知，同時存在角度不同的氣流進入角，角度大者，風速反而較快。本裝置目前只以流體力學模擬，未來會嘗試加入熱力學機制，使實驗方式更加符合颱風結構。

伍、結論與應用

1. 為瞭解季風對颱風風場之影響，本研究選取自 2013 ~ 2024 年 9 月間的颱風，分析與季風互動的颱風比例、風場形狀、風場變化趨勢及模擬。
2. 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	東北及西南季風均共伴	無共伴
占比	22.6%	38.4%	23.3%	25.8%
月份	9 月~翌年 2 月	6~8 月	8~10 月	7~11 月

3. 東北季風共伴、受地形效應影響的颱風，呈「6」字等角螺線形，風場北寬南窄、西寬東窄，海平面輻合帶位於颱風的東北側，一側風速強，一側風速弱，導致出現螺旋形。
4. 西南季風共伴的颱風，呈「9」字等角螺線形，風場南寬北窄、東寬西窄，海平面輻合帶位於颱風的西南側。
5. 無共伴的颱風，風場多呈橢圓形，亦無明顯輻合帶，而颱風因受駛流場的影響，颱風行進方向的右半側風速較強，左半側風速較弱。
6. 流型變化分類：
 - （一）主要「6」形：此類型的颱風主要在冬季，其生活史多受東北季風影響較顯著。
 - （二）主要「9」形：此類型的颱風主要在夏季，其生活史多受西南季風影響。
 - （三）「6」形→「9」形：此類型的颱風，起初東北季風較強風場呈「6」形，隨著颱風北上，帶起西南季風而呈「9」形。
 - （四）「9」形→「6」形：此類型的颱風多在 8 ~ 10 月，前期緯度較低主要受西南季風影響呈「9」形，隨著颱風西移與東北季風接上，因此轉為「6」形。
 - （五）不規則—主要橢圓形：此類型的颱風多在遙遠太平洋（140N° 以東），較無季風影響，呈橢圓形。
7. 氣流場風場模擬裝置中，本研究發現：
 - （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。
 - （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，因為西南季風是由三股氣流合流而成，南側多個氣流進入角較大，當氣流進入時，氣流往東北側匯聚導致風速場呈東北側大，風向場輻合帶則位於颱風中心的南側，。
- (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。
- (六) 八入風口角度不一樣時，角度越大的一側，風速反而較快。

陸、參考文獻

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/
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. Shea, J. & Gray, M. (1973) The Hurricane's Inner Core Region. I. Symmetric and Asymmetric Structure. *Journal of the atmospheric science*. 30: 1544~1564.
9. 財團法人氣象應用推廣基金會 (2008)。颱風的生成、發展、生命史。
10. 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。
11. 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。
12. 林偉文 (2016)。颱風選美三類型大 PK。中學生報第 205 期。
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. 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。
16. 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。
17. 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。
18. 林伯羽、郭泳承、楊可安 (2024)。雙「風」對決，勢「伴」功倍—探討季風對颱風風場之影響與模擬。第 64 屆全國科展國中組地球科學科。

【評語】 180021

本研究分析了 2013 至 2024 年 9 月期間的颱風數據，結果顯示，季風是影響颱風風場形狀的關鍵因素。在東亞特有的季風氣候中，84% 的颱風受到季風共伴的影響。如何定義共伴是很重要的，可以再深入探討。一般共伴造成豪大雨比較受人注意，流型的防災應用可再探討。流型的實驗有頗多限制，應做討論，例如輻合與降雨以及潛熱釋放之影響應該有些說明或討論。