

2025年臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

作品編號	180001
參展科別	地球與環境科學
作品名稱	「梅」來演趣—探討台灣梅雨季之大氣流型演 變與模擬
得獎獎項	二等獎

就讀學校	高雄市立仁武高級中學 高雄市立新莊高級中學
指導教師	蘇毓智 林姝君
作者姓名	劉士寬 高笛祐 徐巧瑄

關鍵詞	<u>流型、滯留鋒、致災性梅雨</u>
-----	---------------------

作者簡介



作者合照（左起：劉士寬、徐巧瑄、高笛祐）

大家好，我們是就讀仁武高中的劉士寬、高笛祐以及新莊高中的徐巧瑄，在國中曾一起參加過科展，那時只要有了不同於以往的發現就會感到非常興奮，並享受著發現和解決問題的過程，但當時因疫情的影響沒有辦法是心中的一大遺憾。幸運的是，在疫情過後有這種難得的機會可以進入國際科展參與實體展覽一直，並延續我們對於梅雨的研究。同時非常感謝兩位指導老師，在一路上給了非常多幫助，讓我們這次的科學之旅順順利利的進行。

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：「梅」來演趣—探討台灣梅雨季之大氣流型演變與模擬

關鍵詞：流型、滯留鋒、致災性梅雨

編號：180001

摘要

為了解台灣梅雨季的氣候特徵，本研究分析了 2009 至 2024 年間五、六月的降雨、風場流型及大氣環境。結果顯示，東北部冬季多雨，而西部地區則自五月梅雨季開始進入雨季，台灣的降雨區域逐漸南移，顯示大氣環境在此期間發生變化。我們分析了 16 年間的風場情形，歸納出 7 種單一風向流型及 2 種過渡流型，並整合其趨勢。我們發現，梅雨季期間，寒冷流型的出現頻率逐漸減少，而溫暖流型在夏季成為主流，不同流型之間的轉變具趨勢性。整合降雨資料後，結果顯示盛行風、低壓帶、地形效應與過渡流型對降雨有顯著影響，且發現致災性梅雨的發生條件。最後，本研究設計模擬裝置，利用不同密度的海藻酸鈉溶液與台灣模型，可模擬出符合本研究歸納的流型。

Abstract

To understand the climate characteristics of Taiwan's Mei-Yu season, this study analyzes rainfall, flow regimes, and atmospheric patterns during May and June from 2009 to 2024. Our analysis of the annual precipitation distribution indicates that northeastern Taiwan experiences rain mainly in winter, while the rainy season of western Taiwan starts in May as the Mei-Yu season begins. The main areas of precipitation gradually shift southward, indicating changes in air patterns during this time. We analyzed 16 years of wind field data and organized the trend of seven main flow regimes and two transitional flow regimes. During the Mei-Yu season, cold flow regimes, such as north and northeast flows, gradually decrease, while warmer flows from the southeast, south, and southwest become the dominant regimes in summer. Changes among flow regimes exhibit a clear trend. By integrating rainfall data, we observed that prevailing flows, low pressure, terrain effects, and transition flow regimes substantially influence rainfall. These factors, in specific combinations, lead to heavy precipitation during the Mei-Yu season. Finally, this study successfully simulated the studied flow regimes by using different concentrations of sodium alginate solution and Taiwan model.

壹、前言

梅雨是台灣常見的天氣現象，每年春末夏初，來自南方的暖濕空氣會來到台灣附近與乾冷的東北風交會，形成滯留鋒並在台灣附近徘徊八天左右（張翔鈞等，2019），是中南部重要的水資源來源。當降雨不足時，將嚴重影響民生用水；反之，若鋒面在台灣滯留過久或水氣過多，則可能引發災害。陳泰然等（2002）曾針對梅雨對流降水之時空分布進行研究，指出：梅雨季時，白天太陽輻射的加熱效應，為引發對流降水的重要成因，且最大降水頻率位於中央山脈，往東西兩側遞減，且大多發生在日間。而降水量之多寡主要取決於低層氣流之發源地，若源自孟加拉灣，則降水量多，反之，若為太平洋高壓環流主宰東南風或西南風，則降水量少（陳泰然，1987）。

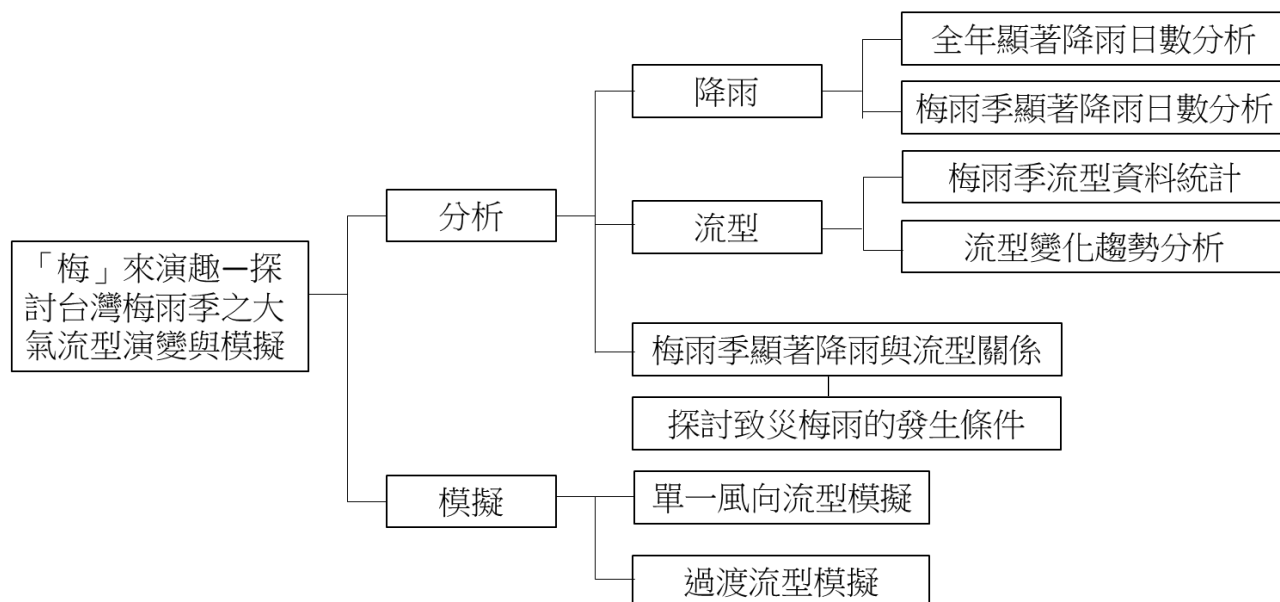
然而，梅雨的影響因素遠不止於此。包括海陸風、午後對流、地形抬升、低壓系統甚至乾鋒面，也增添了預測難度。台灣的地形效應對附近天氣系統影響深遠。藉由分析數值天氣預報動態風場圖，我們觀察到鋒面出現斷裂曲折的情況，也引發我們思考：台灣地形與山脈分布，會對鋒面走向、降雨、氣流流向產生甚麼影響呢？

以下是我們的研究目的

- 一、 台灣全年及梅雨季的顯著降雨日數分析
- 二、 梅雨季（五月、六月）逐日流型分析
- 三、 流型變化趨勢
- 四、 梅雨季降雨與流型的關係分析
- 五、 探討致災性梅雨的發生條件
- 六、 梅雨季各種流型模擬

表一、梅雨相關前人研究

文獻來源	重要價值	來源、內容與發現
期刊文獻	梅雨的定義 臺灣梅雨期平均環流之初步研究 (紀水上, 1978) 影響台灣北部地區之梅雨系統 (陳正改等, 1980) 台灣梅雨面面觀 (陳正改, 1998) 台灣梅雨季區域降雨氣候分析 (呂國臣等, 2002)	1. 廣義上五、六月為台灣梅雨季；一般是五月中旬開始至六月中旬結束，入梅最早為 5 月 1 日（民國 33、82、86 年）；出梅最晚為 6 月 30 日（民國 54 年）。 2. 梅雨較嚴謹的定義為：滯留鋒面在台灣附近（120° E，20~28° N）徘徊，第一波連續四日平均降雨量 $\geq 8.6 \text{ mm}$ 稱為入梅，最後案例結束的隔天稱為出梅。 3. 梅雨降雨影響西部大於東部，南部大於北、東北部。 4. 影響梅雨降雨原因有地面鋒面、地形抬升、海陸風、西南氣流、午後熱對流等。
科展報告	梅雨"鋒"了嗎？ 梅雨季氣候特性之探討 (張翔均, 2019)	1. 地形效應影響大。 2. 以 2012 年為分界，以前降水較多，極端案例多，此後數年降水量較少，極端降水案例亦偏少。

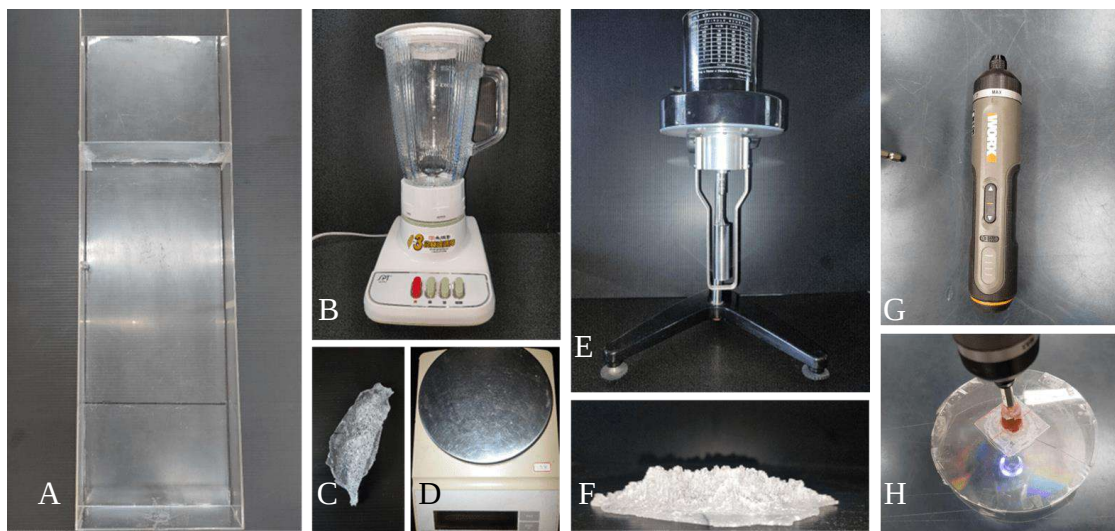


圖一、研究架構圖

貳、研究方法或過程

一、設備及器材

軟體	藥品
Surfer（繪製等值線圖） CorelDRAW（繪製實驗裝置圖）	海藻酸鈉、食鹽
器材及儀器	耗材
果汁機、壓克力槽、電子秤、 台灣模型、黏度計、電動起子	玻璃棒、燒杯、量杯、量筒、奈米膠、 純水、食用色素（黃、藍）



圖二、本實驗使用的重要器材。A.水槽（22*81 公分）、B. 果汁機（尚朋堂 SJ-A15）、C.台灣模型（長 13.5 公分）、D.電子秤（ARA520）、E. 黏度計（BROOKFIELD LVT115）、F.台灣模型（高 2.5 公分）、G.電動起子（WORX WX242）、H.低壓模擬裝置（作者拍攝）

二、資料分析

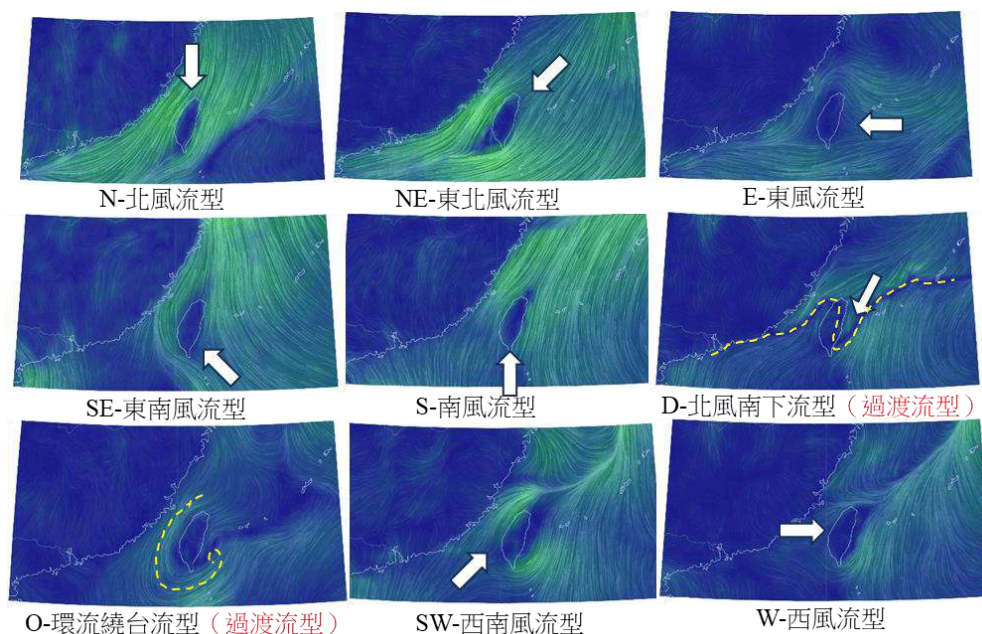
1. 降雨資料分析方法

- （1）向氣象局申購全台灣指定十五個測站（彭佳嶼、基隆、新竹、梧棲、阿里山、嘉義、台南、恆春、蘇澳、花蓮、台東、成功、澎湖、綠島、蘭嶼），統計自 2009 至 2024 年的五、六月雨量資料。
- （2）訂定日降雨量 $\geq 8.6\text{mm}$ 為顯著降雨（參考梅雨的定義：連續四天或四天以上平均日降雨量 $\geq 8.6\text{mm}$ ），並統計 16 年來各月平均顯著降雨日數。
- （3）統計 16 年來台灣梅雨季（五六月上下半月、全月）各測站顯著降雨日數，並利用 Surfer 繪製出平均顯著降雨日數之等值線圖。

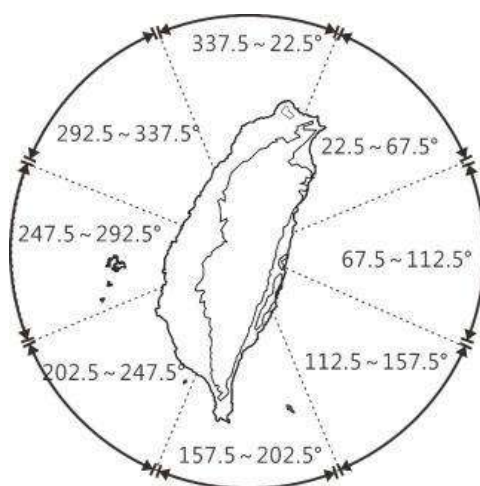
2. 流型分析方法

(1) 透過大氣水文研究與應用資料庫的「SSL 東亞衛星地面天氣圖+風場」和 Earth Nullschool 的動態風場圖，歸納出以下 9 種流型：

N-北風流型、NE-東北風流型、E-東風流型、SE-東南風流型、S-南風流型、D-北風南下流型、O-環流繞台型、SW-西南風流型、W-西風流型。



圖三、風場與天氣圖 (20–30° N, 110–130° E) – 9 種流型範例 (截圖自 Earth Nullschool)



圖四、風向判斷及描述方法 (作者繪製)

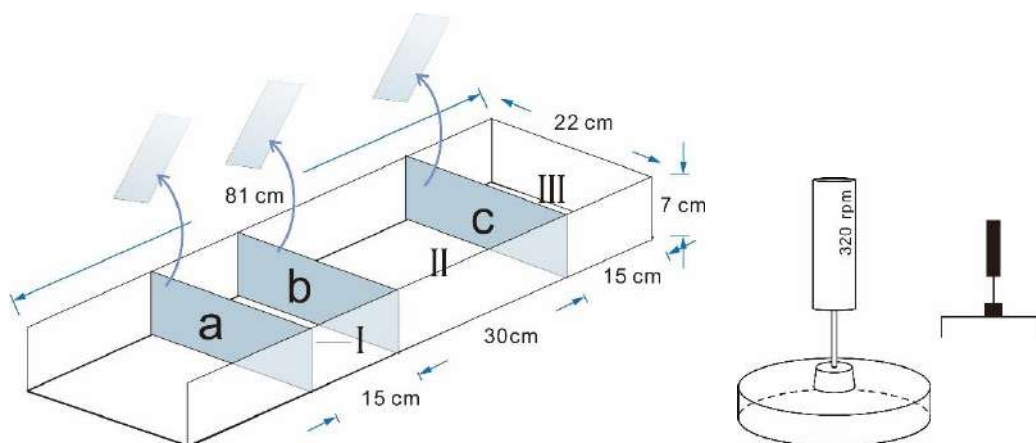
(2) 整理成「流型統計表」後，以月、候為單位繪製流型平均日數折線圖。

(3) 統計 16 年來選定測站 (基隆、梧棲、台南、花蓮、阿里山、澎湖) 顯著降雨日數與流型關係，並繪製成圓餅圖。

三、梅雨流型實驗模擬

(一) 梅雨流型模擬裝置

1. 梅雨流型模擬裝置為一長條型水槽，長 81 公分，寬 22 公分，高 7 公分，長邊其中一端未封住。
2. 裝置中架設三個可以抽出的擋板 a、b、c，可以將此水槽隔成 I、II、III 三個封閉區間。
3. 在不同區間中注入膠體溶液，抽出擋板，模擬各種氣團彼此碰撞的情形。
4. 低壓模擬裝置：光碟片繞一圈寬 3 公分的塑膠片，再接上電動起子驅動。



圖五、梅雨流型模擬裝置（作者繪製）

(二) 膠體溶液配置方法

1. 流型模擬使用的膠體溶液配製方法（濃度 A、B、C）
 - (1) 先將海藻酸鈉和等比例的純水（參考下表）以果汁機攪打均勻。
 - (2) 加入不同克數的鹽（參考下表）。
 - (3) 靜置至無結塊及氣泡。

※ 模擬單風向流型時，含水量需要更高，以便提供較高濃度一方拉力使其前進。

(三) 物理性質－黏度測試

1. 取 500 c.c.的膠體溶液放在燒杯中。
2. 以扭力式電子黏度計測試黏度，黏度單位為 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ (cp 值)。

濃度	海藻酸鈉 (g)	食鹽 (g)	水 (c.c.)	黏度 ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)
濃度 A	1	1.2	75	1650
濃度 B	1	1.6	75	1670
濃度 C	1	1.2	150	65

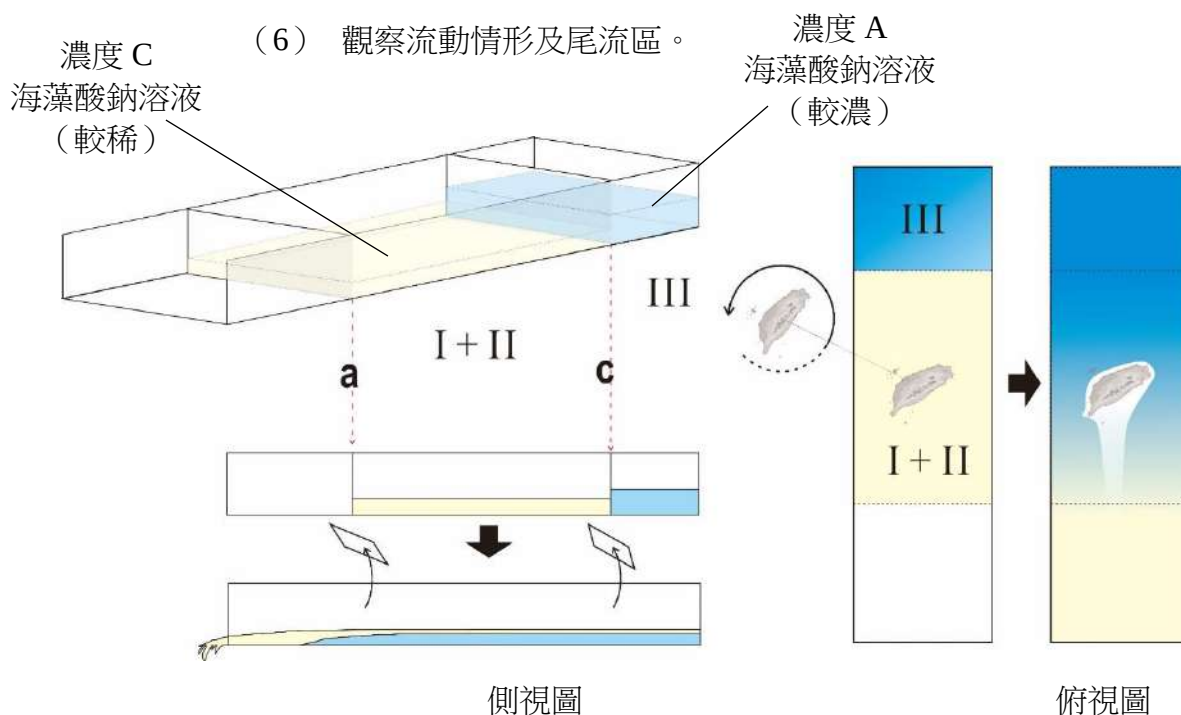
(四) 台灣模型

1. 台灣地形 3D 圖檔（圖源取自 MakerBot Thingiverse <https://www.thingiverse.com/>）。
 2. 將台灣長度等比例縮小為 13.5cm，去除底座，高度設定為 2.5cm，進行 3D 列印。
 3. 以矽膠翻模、以水晶膠灌模。
- ※ 此台灣模型經過垂直拉伸，並不符合實際台灣山脈高度比例（台灣的長約 400km，高約 4km，接近 100：1），但拉伸過的台灣模型可以比較明顯地呈現地形效應。



(五) 流型模擬方法

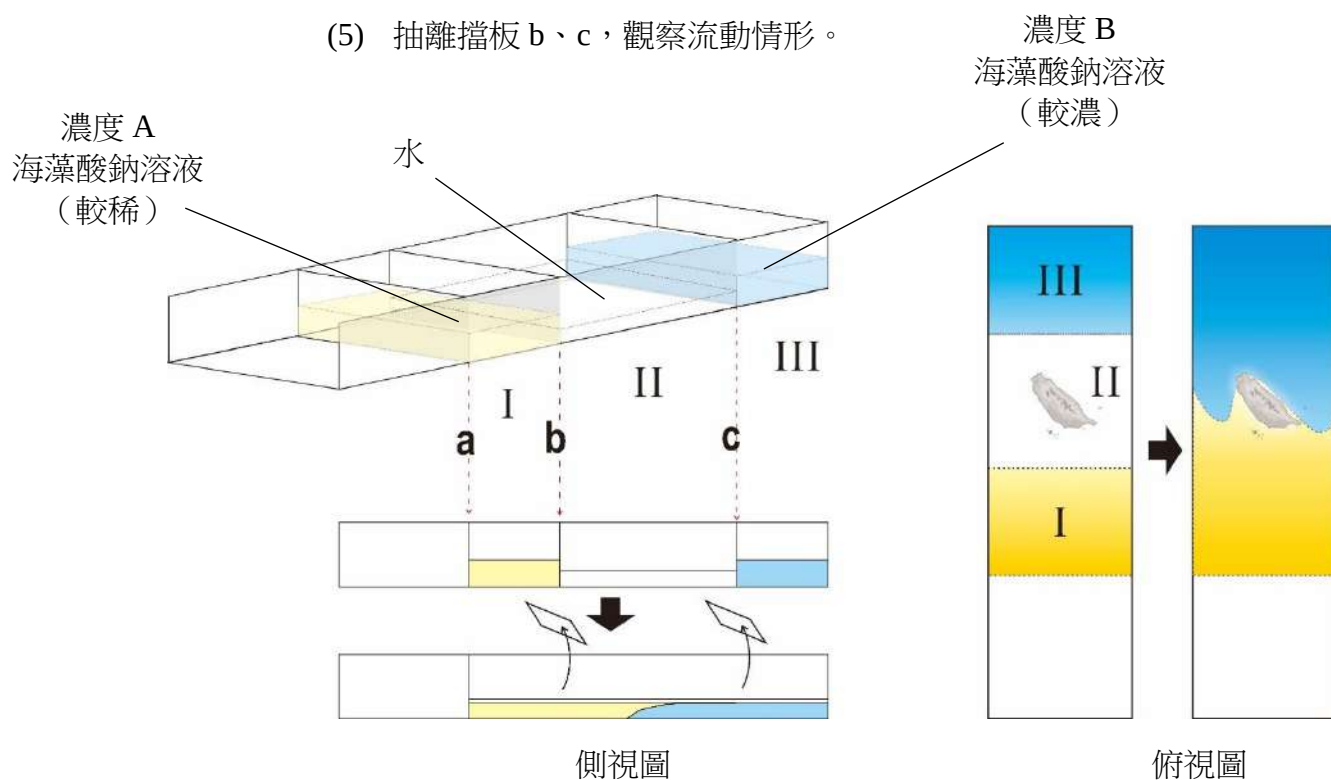
1. 單一風向流型模擬（N、NE、E、SE、S、SW、W 流型）
 - (1) 取濃度 A、C 的海藻酸鈉溶液，控溫至室溫（25°C）。
 - (2) A 濃度染藍色，C 濃度染黃色。
 - (3) 放置台灣模型，調整成各種角度。
 - (4) 插入 a、c 擋板，在 III 區倒入濃度 A 至 2 公分深，中間 I+II 區，則倒 1 公分深的濃度 C 水溶液（此為模擬寒冷流型時的配置方法，模擬溫暖流型時則位置、倒入高度互換）。
 - (5) 抽離擋板 a、c。
 - (6) 觀察流動情形及尾流區。



圖六、單一風向流型模擬（作者繪製）

2. 過渡流型模擬－D-北風南下流型（如圖）

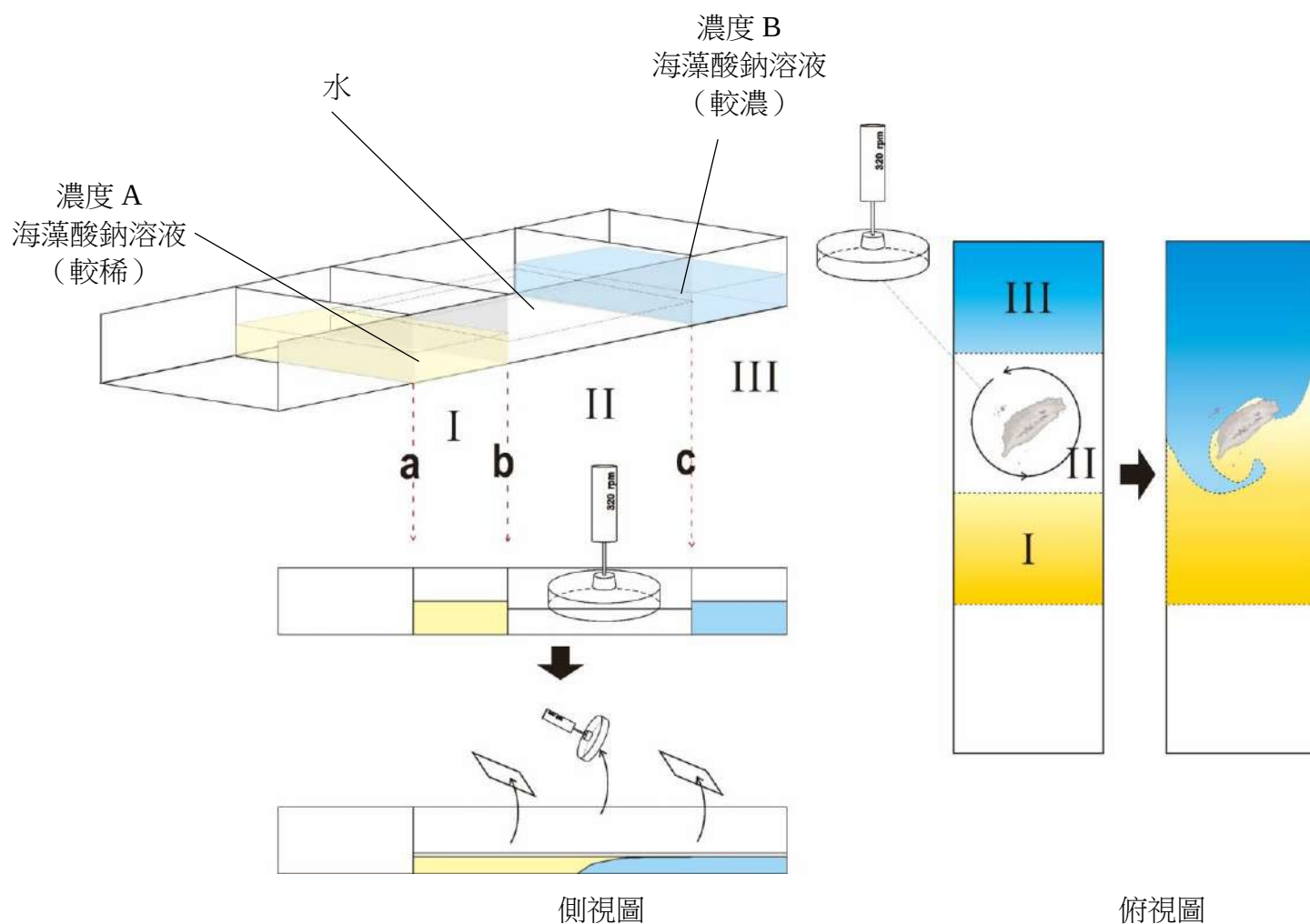
- (1) 取濃度 A、B 的海藻酸鈉溶液，控溫至室溫（25°C）。
- (2) A 濃度染黃色，B 濃度染藍色。
- (3) 放置台灣模型，逆時針旋轉 45 度
- (4) 插入 a、b、c 擋板，將水槽分隔為三等份，
I 倒 A 濃度，III 倒入 B 濃度海藻酸鈉溶液至 2 公分深，
中間則倒水 1 公分深。
- (5) 抽離擋板 b、c，觀察流動情形。



圖七、D-北風南下流型模擬（作者繪製）

3. 過渡流型模擬－O-環流繞台型（如圖）

- (1) 取濃度 A、B 的海藻酸鈉溶液，控溫至室溫（25°C）。
- (2) A 濃度染黃色，B 濃度染藍色。
- (3) 放置台灣模型，順時針旋轉 45 度。
- (4) 插入 a、b、c 擋板，將水槽分隔為三等份，I 倒 A 濃度，III 倒入 B 濃度海藻酸鈉溶液至 4 公分深，中間則倒水 3 公分深。
- (5) 將低壓模擬裝置伸入 II 區，逆時針旋轉使水流環繞台灣。
- (6) 同時將擋板 b、c 及低壓模擬裝置移出，觀察流動情形。



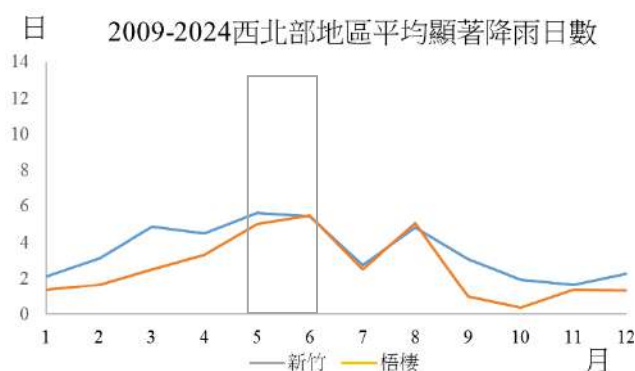
圖八、O-環流繞台型模擬（作者繪製）

參、研究結果

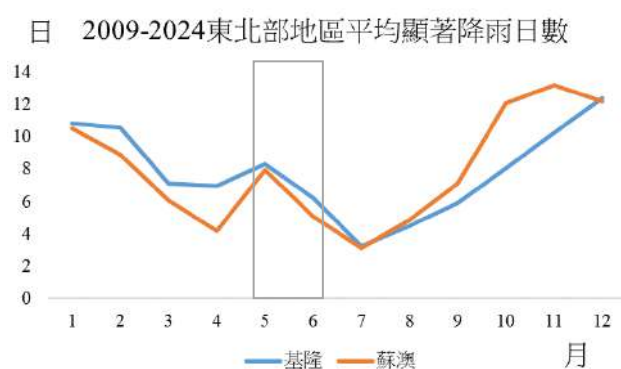
一、台灣地區全年及梅雨季，顯著降雨日數分析

（一）各測站全年顯著降雨日數統計

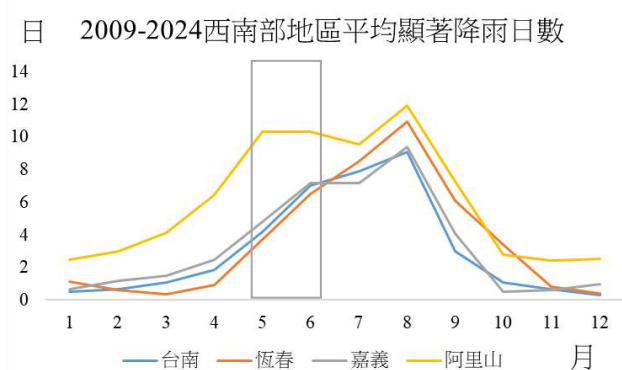
1. 西北部（新竹、梧棲）



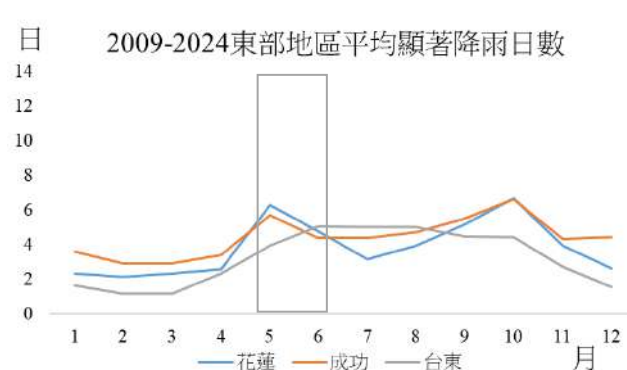
2. 東北部（基隆、蘇澳）



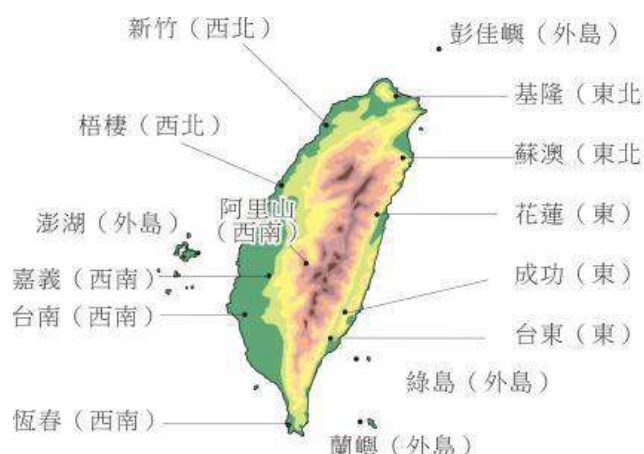
3. 西南部（台南、恆春、嘉義、阿里山）



4. 東部（花蓮、成功、台東）

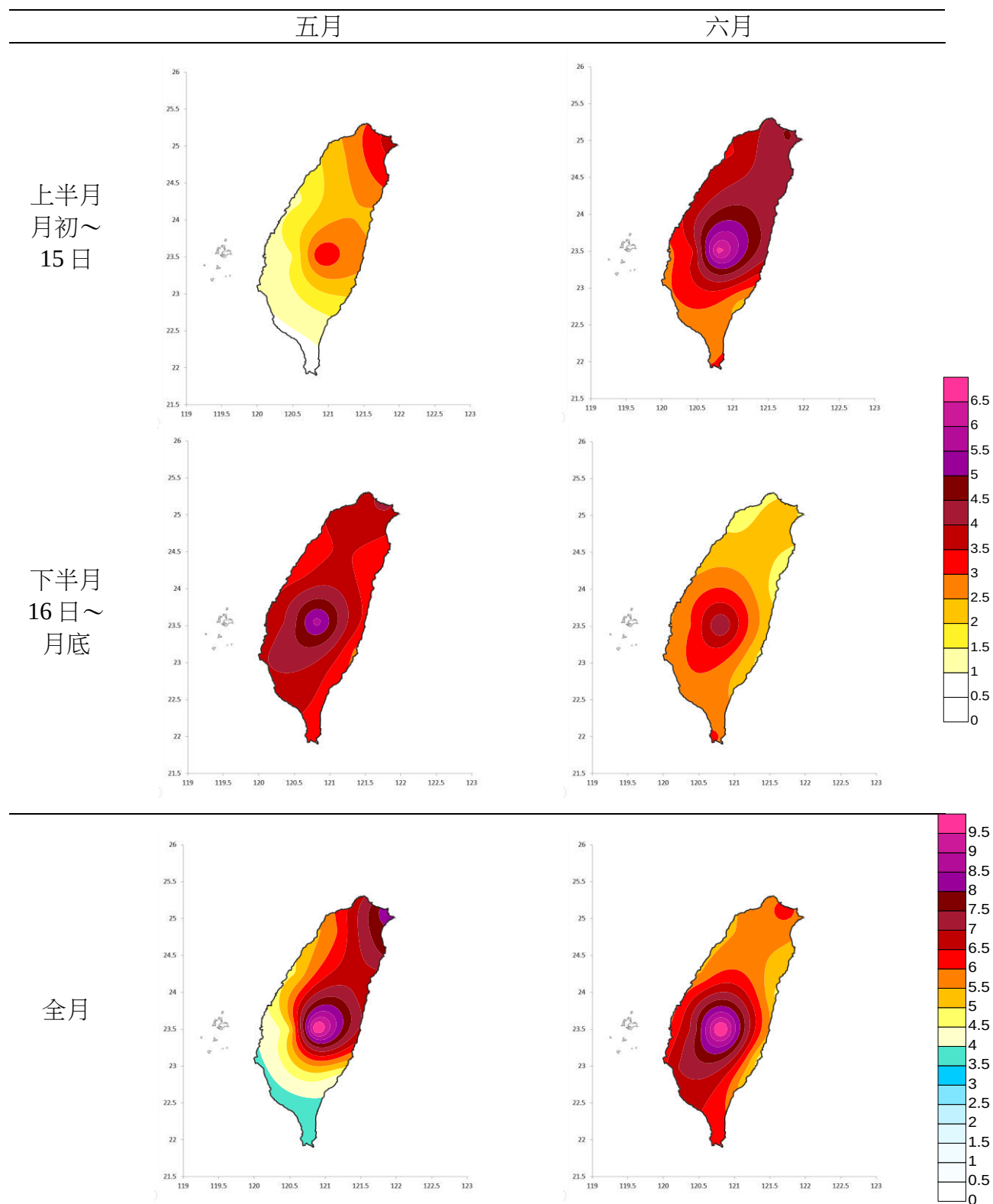


5. 離島（彭佳嶼、澎湖、綠島、蘭嶼）



我們發現：台灣東北部地區冬季的顯著降雨日數比其他地區高出許多，而西南部的顯著降雨為5月梅雨季至颱風季期間，東部與離島顯著降雨全年較為平均。

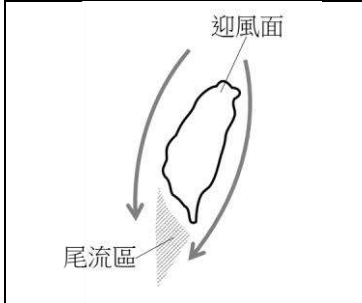
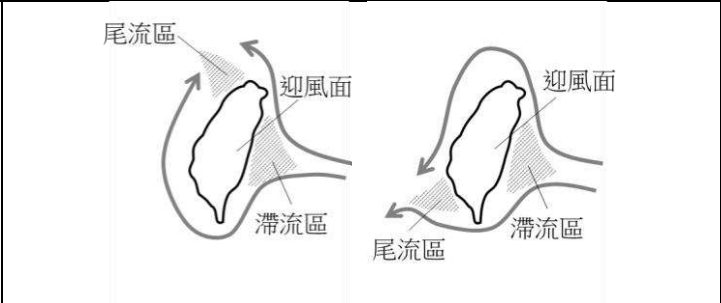
(二) 梅雨季（五月、六月）顯著降雨日數分布

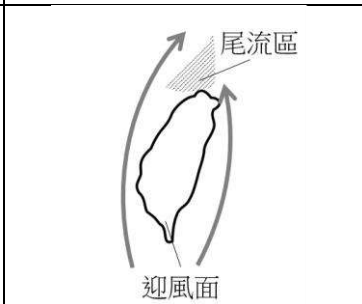
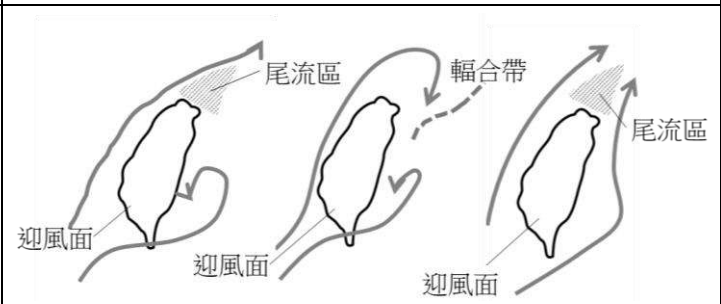


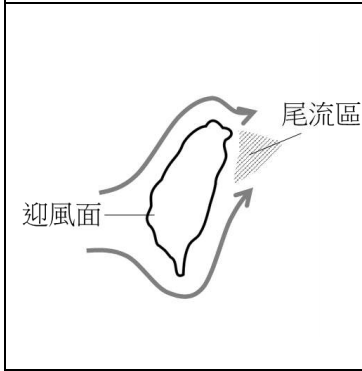
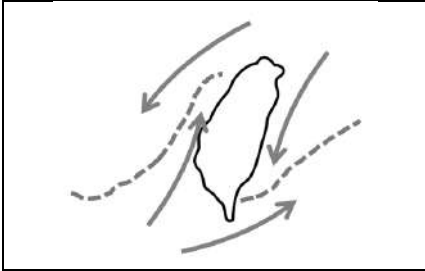
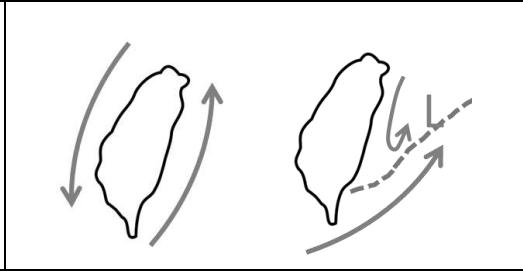
我們發現：五月上半月，顯著降雨極值分布在中部山區及東北角；而五月下半月及六月上半月，全台皆有明顯降雨情形；六月下半月顯著降雨分布主要在中南部迎風面一帶。綜觀來看，可發現顯著降雨分布有逐漸南移的趨勢，顯示期間大氣環境改變。

二、梅雨季（五月、六月）逐日流型分析

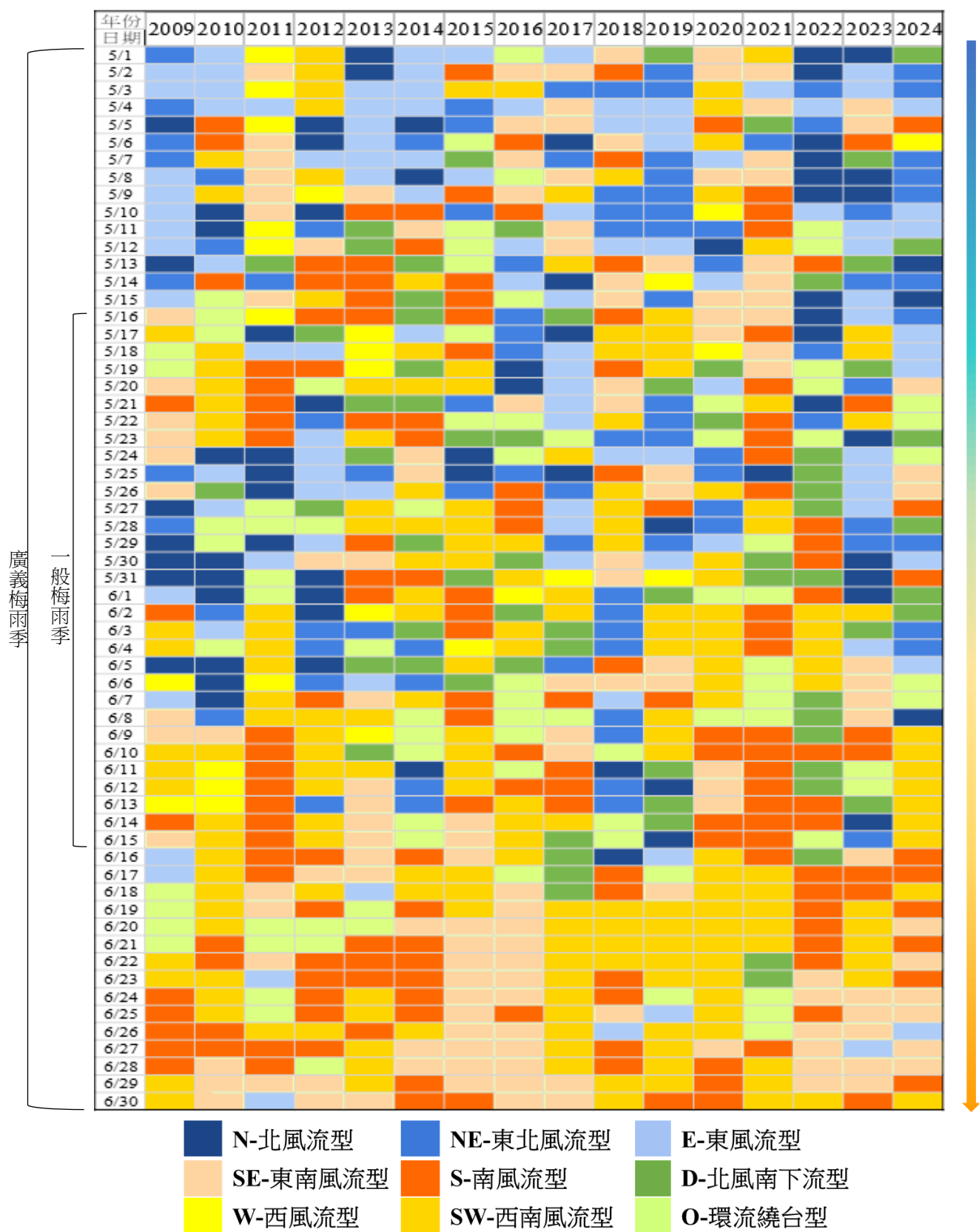
為了瞭解梅雨季大氣環境改變情形，我們不只分析滯留鋒面在台灣附近的位置，更進一步分析台灣周圍的天氣系統。總共歸納出 9 種在五、六月常見的流型，並統計 2009~2024 年期間，各流型的發生日數。

寒冷流型（冷空氣影響）		
N-北風流型	NE-東北風流型	E-東風流型
		
冷高壓籠罩，台灣四周以北風為主。	北方高壓逐漸東移，風向轉為東北，在西南側形成尾流區。	高壓東移出海，帶來東風，在西（北或南）側形成尾流區。

溫暖流型（暖空氣影響）		
SE-東南風流型	S-南風流型	SW-西南風流型
		
太平洋高壓帶來東南風，在西北側產生尾流區。	太平洋高壓籠罩或西南季風流入，全台風場以南風為主。	西南風進入台灣，容易在東北側形成尾流區和輻合帶，東南側產生旋生。

W-西風流型	過渡流型	
	D-北風南下流型	O-環流繞台型
		
西南氣流偏西進入台灣，或南側存在高壓。	鋒面南下時，受台灣地形阻擋，鋒面易彎曲或斷成兩截。	台灣附近出現低壓，或氣流環繞台灣，容易在背風側產生旋生。

(一) 流型資料統計

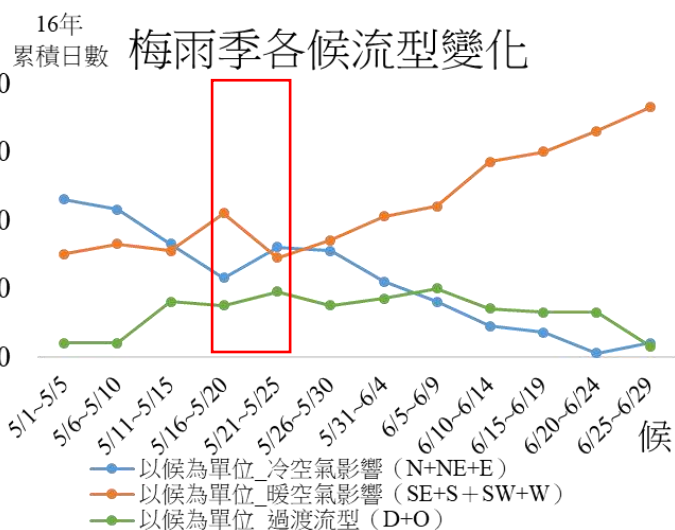
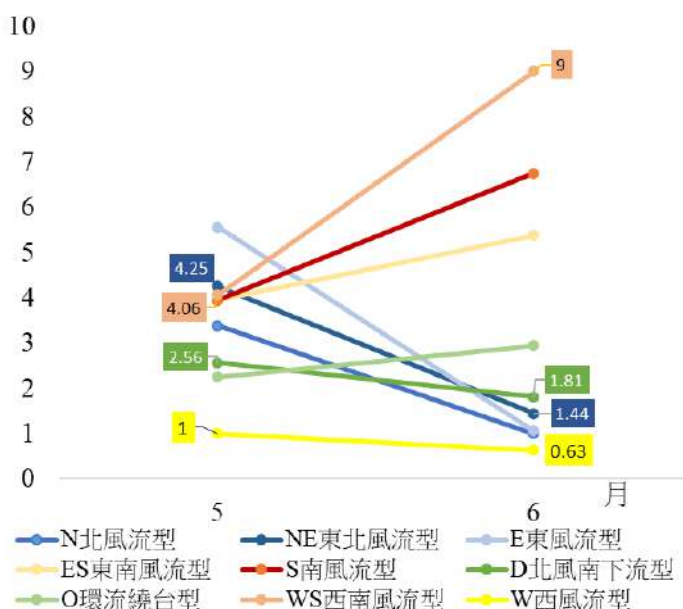


我們統計了 16 年間的逐日流型，以冷色系代表寒冷的北風、東北、東風流型；暖色系代表東南風、南風、西南風、西風流型；綠色代表風向快速變換中出現的過渡流型。

(二) 流型比例統計

	N 北風流型	NE 東北風流型	E 東風流型	D 北風南下流型	O 環流繞台型
五月 流型平均 發生日數	3.38	4.25	5.56	2.56	2.25
六月 流型平均 發生日數	1.00 (↓)	1.44 (↓)	1.06 (↓)	1.81 (↓)	2.94 (↑)
	SE 東南風流型	S 南風流型	SW 西南風流型	W 西風流型	
五月 流型平均 發生日數	3.94	3.94	4.06	1.00	
六月 流型平均 發生日數	5.38 (↑)	6.75 (↑)	9.00 (↑)	0.63 (↓)	

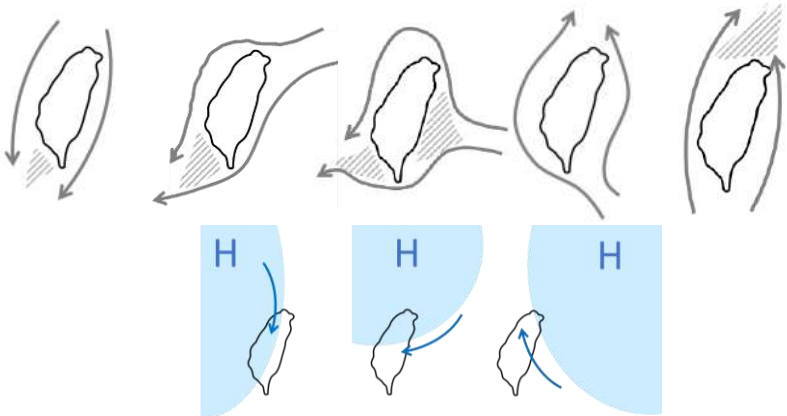
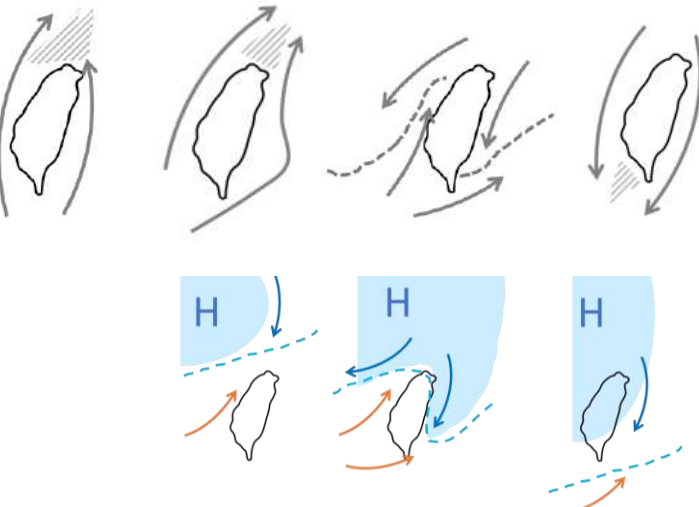
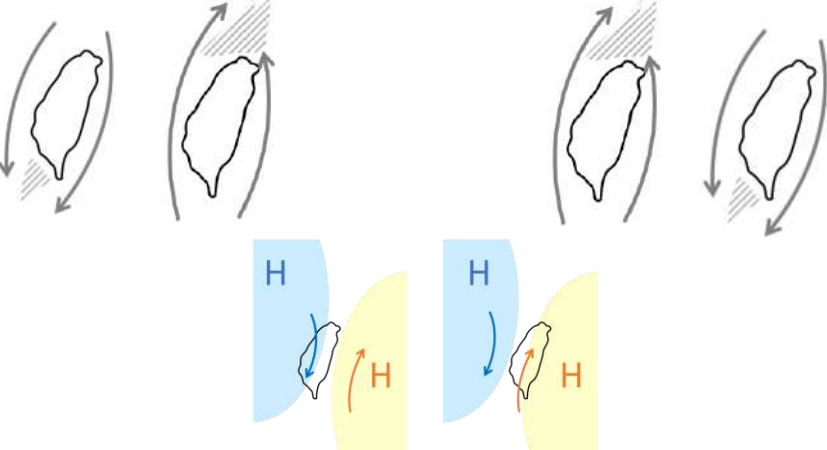
平均日數 5-6月流型平均發生日數



標註變化較大的 S-南風流型、N-北風流型以及較為特殊的 D-北風南下流型後，可發現：南風流型在五～六月期間明顯爬升，而北風及北風南下流型則呈現下降趨勢。

可以觀察到，從五月第五候開始，溫暖流型增多，寒冷流型則減少，顯示冷高壓勢力正逐漸減退。

三、 流型變化趨勢

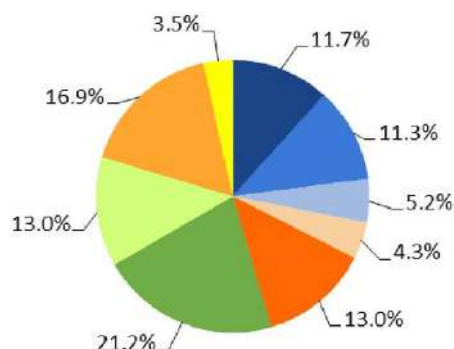
流型變化說明	案例
N(E)→E→S(E) 大陸冷高壓盤據→東移出海→逐漸變為南風 	2009/05/14~16、2009/05/31~06/02、 2010/05/12~14、2009/06/08~09、 2011/05/17~19、2012/05/10~12、 2013/05/02~09、2014/05/08~10、 2018/05/03~06、2018/05/11~13、 2018/05/23~25、2019/05/11~13、 2019/05/23~25、2020/05/13~15、 2023/05/01~04、2024/05/03~05、 2024/05/16~20、2024/05/29~31
S→SW→D→N (S→SW→N、S→D→N) 南風→風向轉為西南西→鋒面南下滯留→北風盤據 	S→SW→D→N 2011/05/10~14、2013/05/22~25、 2014/05/31~06/05、2019/06/07~12 S→SW→N 2010/05/06~08、2017/05/12~14、 2018/05/07~09、2020/05/08~11、 2023/05/21~23 S→D→N 2016/05/10~13、2022/05/13~15、 2023/05/06~08、2023/06/10~14、 2024/05/27~29、2024/05/31~06/03
N(E)→S(E) (或 S(E)→N(E)) 南、北風向轉變時變化很快 	N→S(S→N)北轉南(南轉北) 2009/05/24~27、2011/05/14~15、 2011/05/23~24、2012/05/30~31、 2012/06/06~07、2016/05/20~21、 2016/05/25~26、2017/05/03~08、 2017/06/05~06、2018/05/31~06/01、 2018/06/04~05、2019/05/27~28、 2021/05/06~07、2021/05/24~26、 2023/06/15~16

第一種趨勢為西南季風增強的過程，大多集中在五月季風系統建立初期；第二種趨勢則為鋒面南下滯留的過程。可知流型轉變過程重複發生，顯示流型變化有其趨勢性。

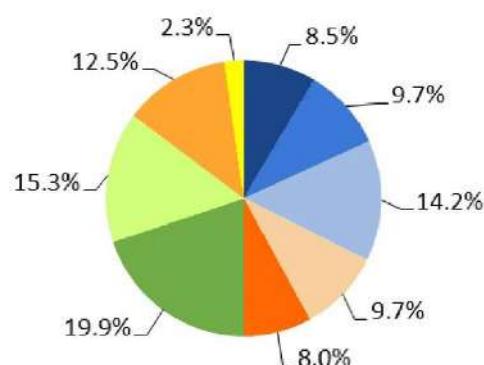
四、梅雨季降雨與流型的關係分析

顯著降雨對應當日流型製成圓餅圖，從 15 個測站中選定各地區最具代表性者，羅列如下：

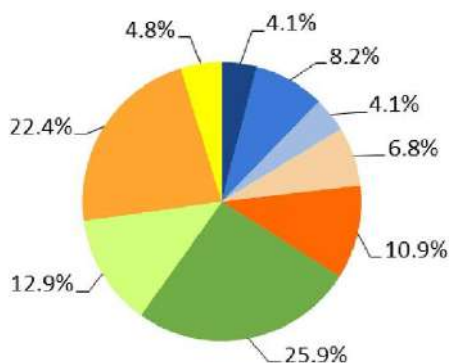
基隆 顯著降雨日數



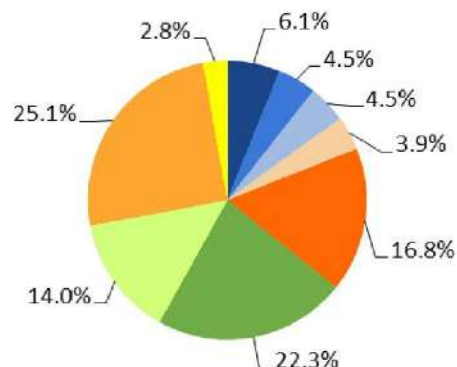
花蓮 顯著降雨日數



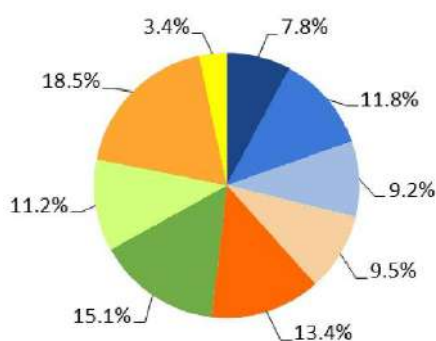
梧棲 顯著降雨日數



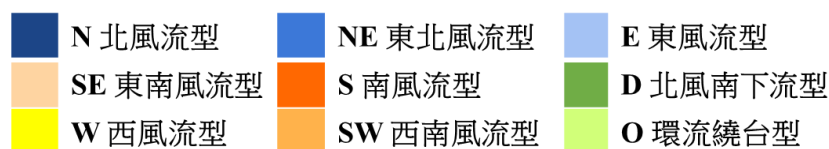
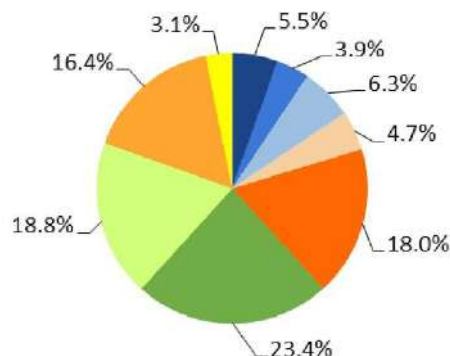
台南 顯著降雨日數



阿里山 顯著降雨日數



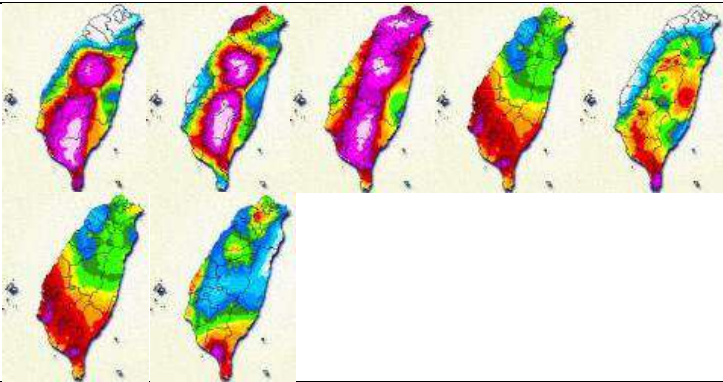
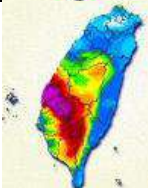
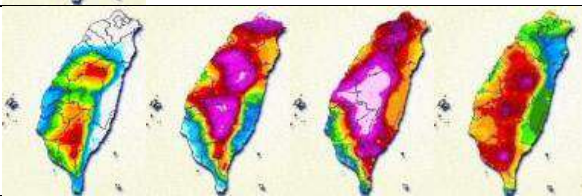
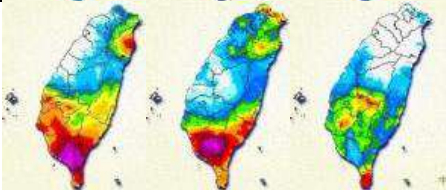
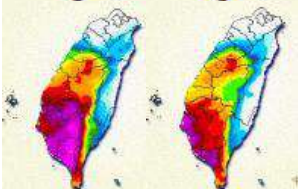
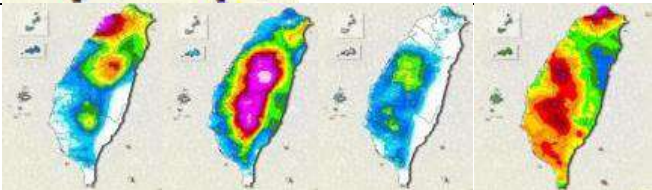
澎湖 顯著降雨日數

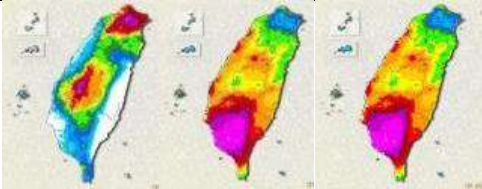
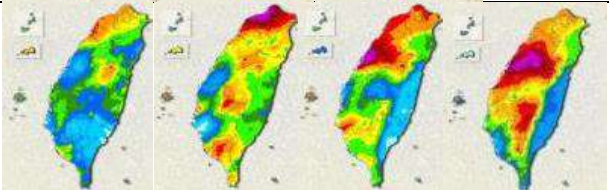
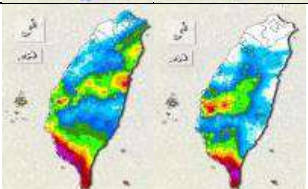


我們發現：過渡流型及西南風為全台帶來顯著降雨。除此之外，北風流型為基隆帶來最多顯著降雨；東風流型為花蓮；（西）南風流型則是梧棲、台南、阿里山及澎湖，其中離島的澎湖高達 37.5%。顯示受地形效應影響，顯著降雨與該地區否為迎風面有極大關聯。

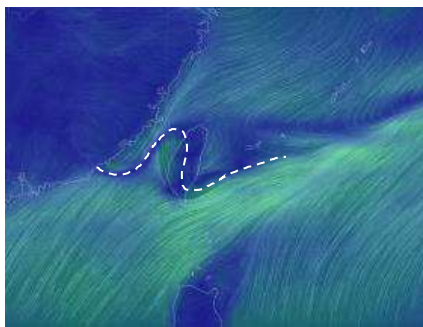
五、探討致災性梅雨的發生條件

為了探討致災性梅雨的發生條件，我們實際分析了近 16 年來造成連日豪雨及造成災害的案例，歸納如下：

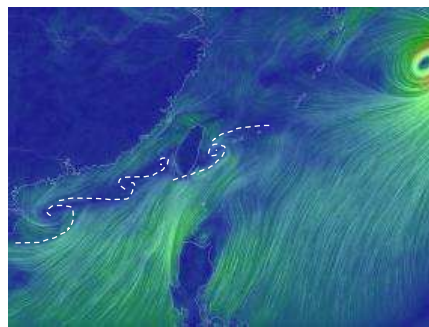
豪雨案例	流型變化	降雨分布（資料來源：中央氣象署、大氣科學研究與應用資料庫）
2012 6/9~15	SW→SW→SW→SW →NE→SW→SW [西南氣流]	
2014 6/3	D [北風南下]	
2016 6/2	D [北風南下]	
2017 6/1~4	SW→SW→D→D [北風南下]	
2018 6/14~16	O→O→N [環流繞台（低壓帶）]	
2018 6/19~20	SW→SW [西南氣流]	
2019 5/17~20	SW→SW→SW→D [北風南下]	

2021 6/4~6	O→O→O [環流繞台（低壓帶）]		
2022 5/24~27	D→D→D→D [北風南下]		
2023 6/12~13	O→D [環流繞台（低壓帶）、北風南下]		

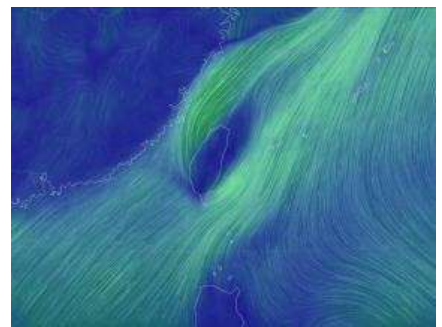
幾種致災性梅雨的常見流型（圖自 Earth Nullschool 網站）



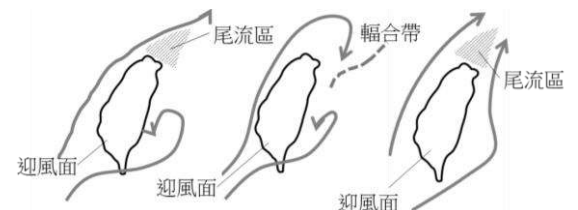
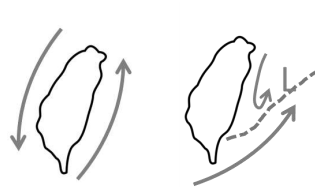
2017.6.3 D-北風南下流型



2023.6.12 O-環流繞台型



2018.6.20 SW-西南風流型



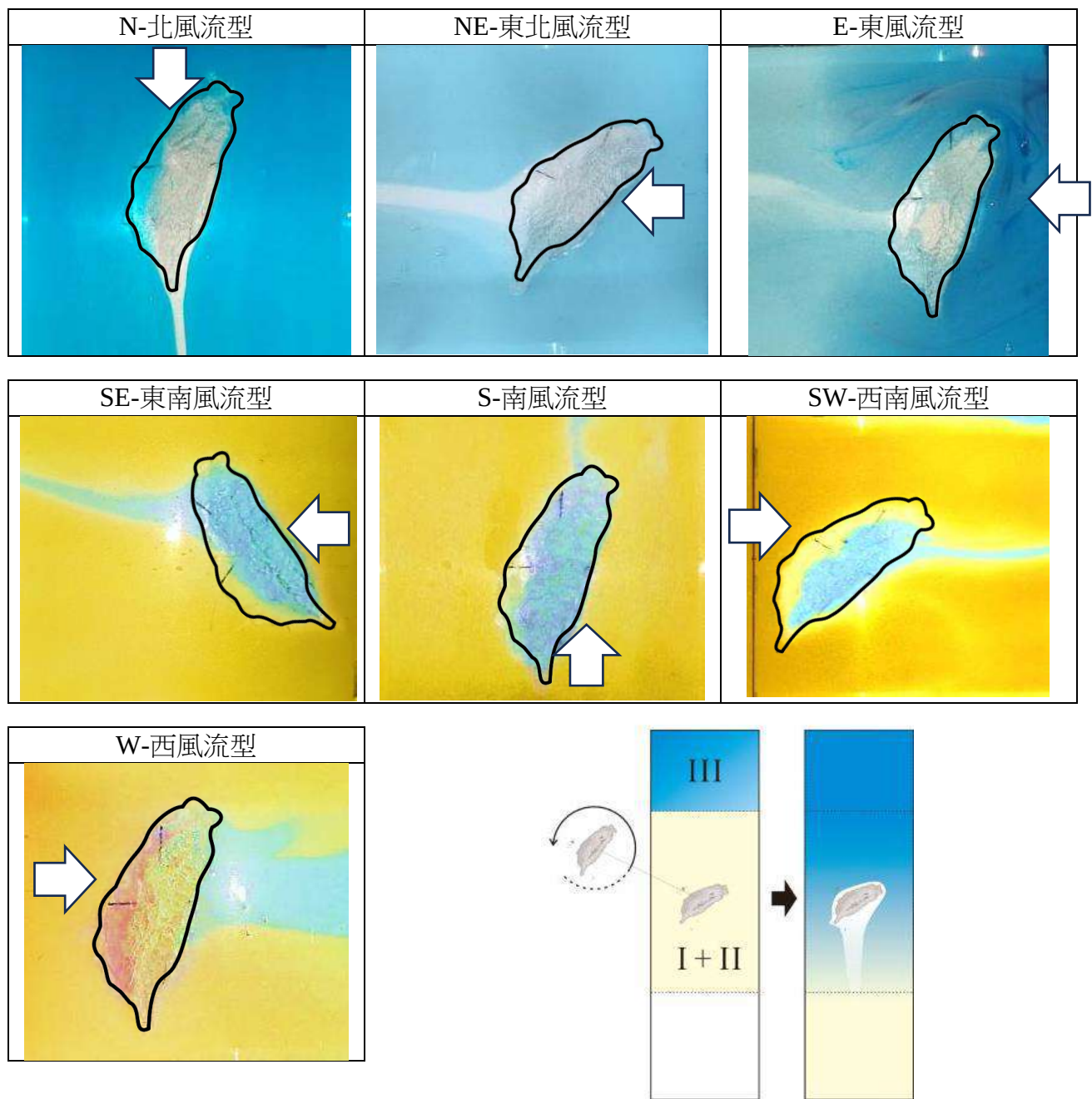
實際比對天氣圖後發現，幾乎所有由西南風引起的致災性梅雨的案例大多由發源地在印度至孟加拉一帶的西南氣流引發，呼應陳泰然（1987）提到的「降水量主要取決於低層氣流之發源地，當源自孟加拉灣且較強之西南氣流控制時，該月多雨屬濕梅月」。

此亦發生於 D-北風南下流型及 O-環流繞台型，推測為當台灣附近有較強之雲雨帶（鋒面）因台灣地形而滯留，或是台灣附近有低壓引起的積雨雲帶聚集，容易有致災性梅雨的出現。

綜觀整個五月中旬至六月中旬（為狹義的梅雨季，紀水上，1978），致災性梅雨大多發生在六月，文獻指出：6月時，印度北方之低對流層季風低壓及向東南東伸展之季風槽較5月增強偏北（陳泰然，1987），也是其大多發生於6月的關鍵之一。

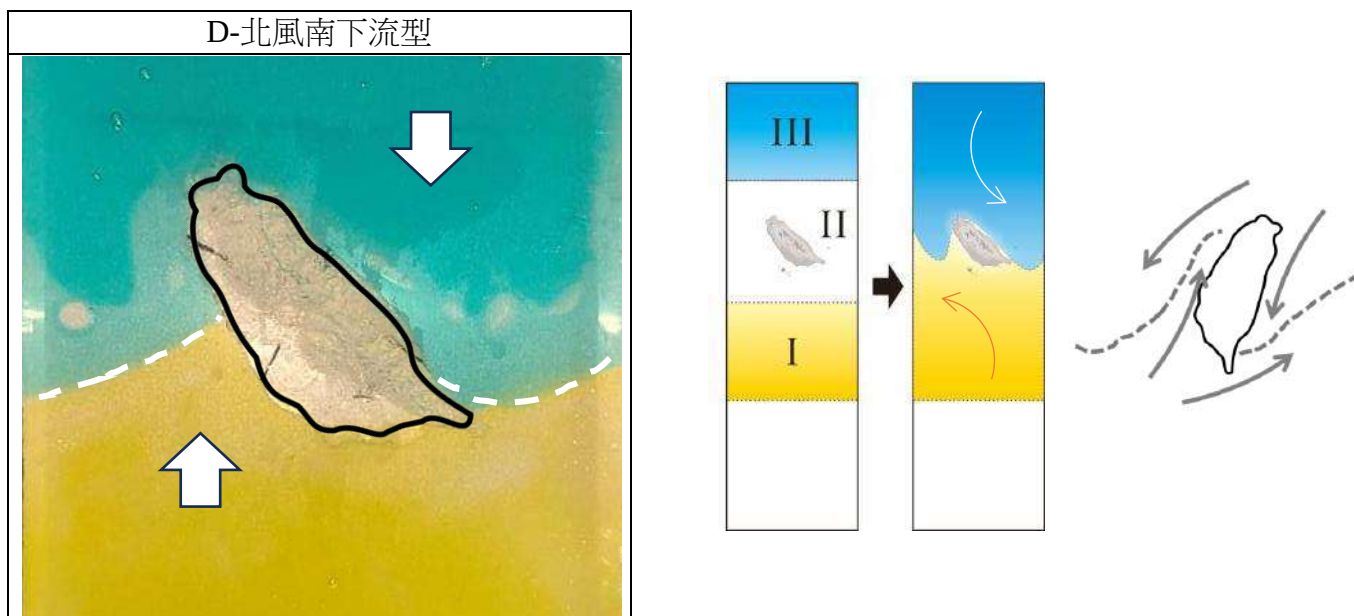
六、梅雨季各種流型模擬

(一) 單一風向流型模擬



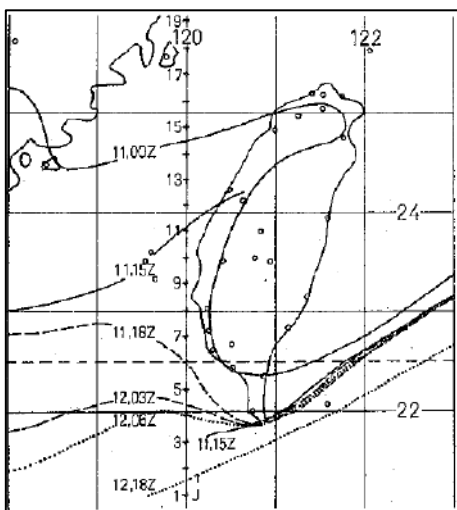
本研究將台灣擺放不同角度，改採用流體水位差提供的動力，打開閘門使膠體流出，這樣可明顯觀察到背風側的尾流區。此外，流體與台灣地形夾角也會影響尾流區寬度，沿山流型的 N-北風、NE-東北風、S-南風，SW-西南風，尾流區較窄；而阻擋流型的 E-東風、W-西風，尾流區則較寬。

(二) 過渡流型模擬

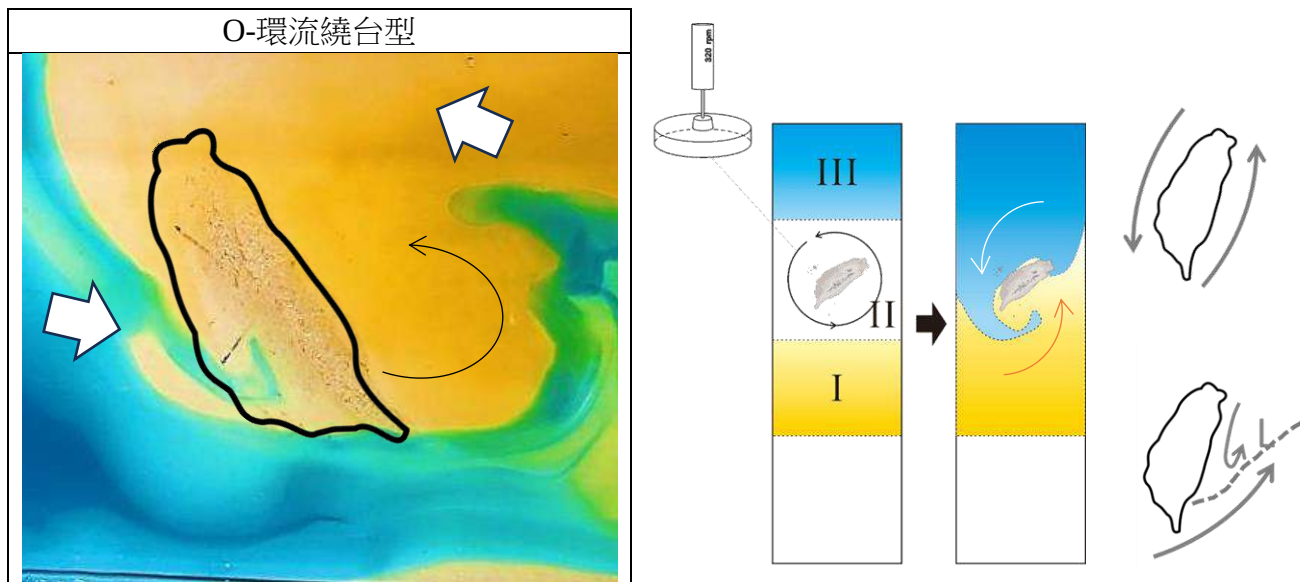


我們以不同密度的海藻酸鈉溶液可以模擬出兩股氣流的碰撞，透過改變台灣模型角度，使台灣東側模擬冷空氣的膠體因為沒有地形阻擋更早南下，西側模擬暖空氣的膠體沿山北上，觀察兩種膠體顏色的分界，可更能進一步觀察到交界處的彎曲斷裂現象。

陳泰然教授在 1978 年文獻指出：「東側鋒面已先於西側者移至較低緯度之台灣東南海面後幾近滯留，西側鋒面則向南移動，唯速度有所變化」，類似我們所定義的 D-北風南下流型鋒面彎曲或斷裂情形（圖九）。

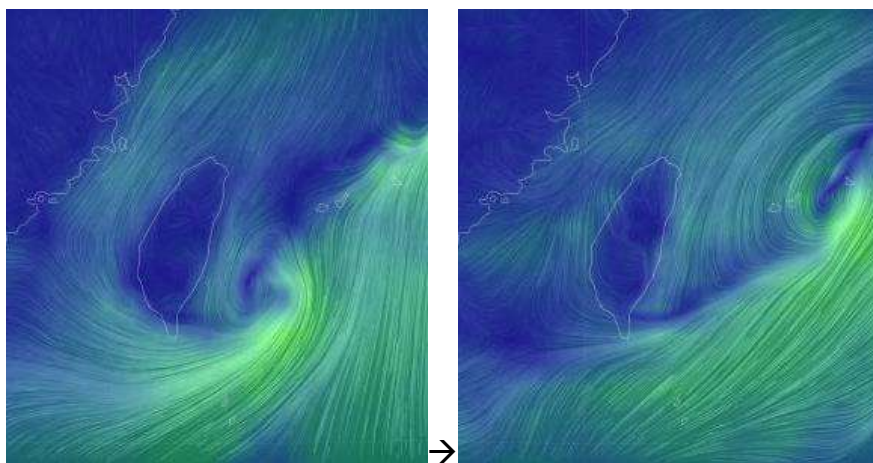


圖九、梅雨鋒面南下時，東西側到達時間不同（陳泰然，1978）



環流繞台的低壓帶流型模擬方法，我們調整台灣模型的角度，再於模型周圍製造漩渦，再讓膠體流入，可以發現台灣東方出現渦旋的現象。

對照流型分析案例可以發現，這類東南側的旋生常常會漸漸加深，向東北移出，且在天氣圖上形成長長的低壓帶系統（圖十）。



圖十、2023.6.14.0000~0800UTC 台灣附近的環流繞台流型
（圖自 Earth Nullschool 網站）

肆、討論

梅雨是東亞地區獨特的天氣現象，台灣位處季風交界處，每年五、六月份是東北季風轉換為西南季風時期，當西伯利亞冷高壓與太平洋低壓勢力相當時，交界處往往形成狹長的滯留鋒面，經常伴隨西南氣流並夾帶豐沛水氣，也因此鋒面處常有較大雨勢發生。我們查閱過去文獻後發現，臺灣之梅雨期，不論是以降水量或是降水日數來界定，皆發生在五月中旬至六月中旬期間（紀水上，1978），且平均有四至五道梅雨鋒面入台，於 5/10 ~ 5/24 之間入梅都算正常，最遲 6/30 才出梅，最短 11 天，最長 52 日，平均約有 27 天降雨日（陳正改，1980）。過往的文獻著重探討滯留鋒過境前後的天氣變化，但因每年出入梅的時間不同，且影響梅雨的不只有滯留鋒面，因此我們研究「廣義」的梅雨季，也就是 5、6 月的風場。

事實上，直接利用動態天氣圖中鋒面的出現與否來判斷出入梅時間十分困難，梅雨鋒面是不太精準的動態系統，且具體發生時間與其定義皆十分模糊，時常隨大氣環流的變化而有所改動。在「梅雨"鋒"了嗎? - 梅雨季氣候特性之探討」（張翔鈞等，2019）及「台灣梅雨對流降水之時空分布特徵」（陳泰然等，2002）中皆有提到：梅雨鋒面大多數生成於 25°N~30°N 之間，平均生命約八天左右，之後多緩慢南移。綜觀對於梅雨期之肇始定義，可知為第一波連續四日平均降雨量 ≥ 8.6 毫米的第一天（8.6 毫米是台灣北部地區五、六月的氣候平均日雨量），即為「入梅」；最後一波個案的隔天，即為「出梅」。

我們曾經討論過，若單純研究分析雨量，會因突發性的降水進而拉高整體平均值，因此將梅雨降水與其他因素做比較時，不宜將所有五六月發生的降水，皆視為梅雨降水（張翔鈞等，2019）。故本研究訂定日雨量 ≥ 8.6 毫米視為顯著降雨標準，並向氣象署申購五、六月份的雨量資料，進一步分析統計出五六月顯著降雨日數。

此外，隨著季節交替，鋒面平均出現位置會逐漸向北移，推測為梅雨前期東北季風勢力較強，而後期轉為西南季風盛行，才導致上述結果，此也呼應王崇穎（2015）所提到的：「梅雨前期，大尺度環流主要以東北季風為主，中期風場開始轉變為西南風，後期則主要以南風為主」。顯示鋒面位置變動不定，增加判斷梅雨季節肇始與結束的難度。對此使我們思考：在大氣環境不斷改變的情況下，每雨季期間的風場是否會保有某些規律性呢？因此本研究主要分析梅雨期間的風向與試圖歸納出特定「流型」。

本研究挑選全台灣十五個指定測站，繪製出全年顯著降雨日數折線圖，劃分為東北、西北、西南、東部以及離島五個地區後觀察降雨趨勢，我們發現：東北部的顯著降雨最大值集中於冬季，推測是東北季風為迎風面帶來大量水氣所導致；西南部的顯著降雨則在 5 月梅雨季和 7~9 月颱風季出現兩個最大值，東部與離島的顯著降雨全年較為平均。卓盈旻等（2021）提到，臺灣氣候的年雨型有明顯的雙峰結構，較早的第一峰值出現在 5、6 月，第二峰值出現在 7 月底至 9 月中，且第一峰值的大環境屬於氣候上的東亞夏季季風建立期，屬臺灣的梅雨季；第二峰值的大環境屬於西北太平洋夏季季風旺盛期，也是西北太平洋颱風活躍期。此外，陳泰然（1978）也指出梅雨期總降水量分布情形，顯示出地形作用與中幅度低壓均扮演重要角色，印證在大氣環境中，地形作用與盛行風對區域性降雨具有重大影響。

本研究試著將平均顯著降雨日數以等值線圖表示，切分為五月上旬、下旬、六月上旬、下旬及五六月總和，可以發現：歷年平均尚未入梅的五月上旬，受到東北季風的影響較大，顯著降雨多分布在中部山區及東北角，而時值梅雨季的五月下旬及六月上旬，除了台東及澎湖外，全台皆有降雨的情形。六月下旬顯著降雨分布於南部迎風面。綜觀來看，可發現顯著降雨區域逐漸南移，顯示大氣環境正在改變。為了更加瞭解梅雨期間的大氣狀況，本研究使用「Earth Nullschool」及「大氣科學研究與應用資料庫」的資料，以期在複雜的梅雨天氣系統中，能歸納出風場、流型、降雨間的規律性。

首先，本研究將梅雨季節定義為每年的五、六月，設定觀察範圍是 $15^{\circ}\text{N} \sim 35^{\circ}\text{N}$ ， $110^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E}$ ，擷取 2009~2024 年五六月逐日 UTC 0 時的動態風場圖進行分析比對。陳泰然（1978）曾指出，「台灣東側鋒面先於西側，當移至較低緯度之台灣東南海面後幾近滯留」，鋒面因台灣地形效應而斷成「Z」字型，便是本研究所歸納的 D-北風南下流型。

在單一風向流型中，因氣流進入角及台灣地形影響，易在背風側產生尾流區及輻合帶，甚至生成旋生，特別是東風和西風流型中，氣流進入角與台灣山脈的夾角幾乎 90° 的情況下尤為明顯。D-北風南下流型的輻合帶常出現旋生及伴隨熱帶性低氣壓，和 O-環流繞台型同屬風場較不穩定的過渡流型。在流型平均統計中，SE-東南風、S-南風、SW-西南風、W-西風等流型，從 5 月起就爬升的十分明顯，從各候流型變化折線圖的分析結果，更可以看到從 5 月第 5 候開始有增多的情形，而 N-北風、NE-東北風、E-東風等流型則漸漸減少，自 6/16~6/30 大尺度風場主要都是穩定的南風（王崇穎，2015），推測有可能是冷高壓勢力減弱所致。

統計完流型之後，本研究嘗試推演出其中的趨勢性。當冷高壓東移出海時，帶來的北風會隨著時間逐漸轉變為東風，接著再轉變為南風，此趨勢在過去 16 年內曾發生近 20 次，且在風向的變化中，常會經歷過渡流型，例如，當北風轉為南風時，D-北風南下流型和 O-環流繞台型會在這一過程中出現，顯示過渡流型在風場轉變中的關鍵性。此外，北風↔南風、東風↔西風的情況也時常發生，也顯示出位處季風交界帶的台灣，在 5、6 月時出現風場不斷轉變的現象。

有了流型、顯著降雨日數分析後，我們想知道兩者是否存在關聯性，於是本研究分析台灣 15 個測站並從中選定其中 6 個位處各地區迎風面、資料完整且具有代表性的測站，分析顯著降雨和流型的關係。其中，過渡流型及西南風流型為全台灣帶來大範圍的顯著降雨，除此之外，N-北風流型帶來最多顯著降雨的地區是基隆，E-東風流型則是花蓮，台南、阿里山及澎湖則是以 S-南風流型為主，離島的澎湖，溫暖流型所帶來的顯著降雨則佔比將近 50%，顯示不同地理環境迎風面與所屬流型有極大連結。

此外，根據呂國臣等（2002）在「台灣梅雨季區域降雨氣候分析」中指出：北部地區雨量主要來自鋒面影響（約 68%），而西半部地區大約有 65%，東半部區域之雨量來源特性與西半部頗有差異，降雨來自鋒面型者，在東北部有 55%，東部及東南部各為 34%及 41%，由此可知，台灣各地區之降雨特性有地域性之差別，與本研究的分析結果相同。

值得注意的是，陳泰然等（1987、2002）曾針對台灣乾濕梅雨期之平均環流特徵、梅雨對流降水之時空分布進行研究，皆指出「降水量主要取決於低層氣流之發源地，當源自孟加拉灣且較強之西南氣流控制時，該月多雨屬濕梅月；當源自西太平洋高壓脊環流之東南、南或西南氣流或東亞主槽後之大陸性西北氣流控制時，該月少雨屬乾梅月。」表示當西南氣流為來自印度及孟加拉一帶之索馬利亞噴流時，則容易引發致災性梅雨；當源自副高壓邊緣氣流引發時，則反之。

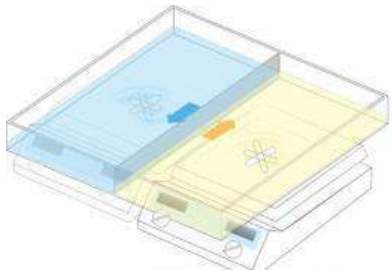
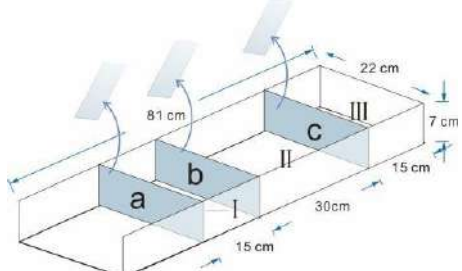
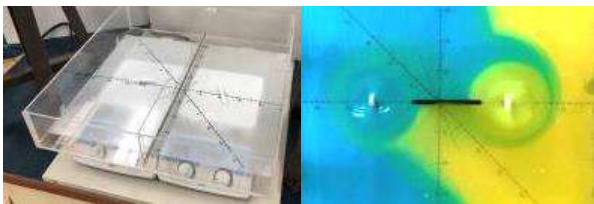
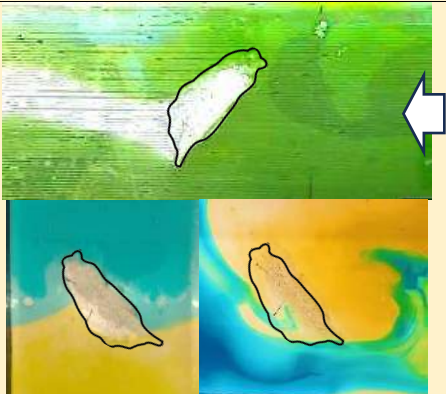
另外，實際分析 16 年來所發生的致災性梅雨的雨量資料和天氣圖後發現，其皆發生於 D-北風南下流型、O-環流繞台型及 SW-西南風流型。且西南氣流之發源地皆源自印度至孟加拉一帶，推測為西南氣流自孟加拉一帶發展後夾帶大量水氣，並在台灣一帶與高壓對峙，形成連日降雨。過去文獻指出：6 月時，印度北方之低對流層季風低壓及向東南東伸展之季風槽較 5 月增強偏北（陳泰然，1987），推測也是致災性梅雨大多發生於 6 月的關鍵之一。

最後，為什麼我們想要模擬梅雨？以及模擬梅雨的價值為何呢？

在閱讀相關研究文獻後發現，即使有大量且精細的分析數據及統計圖表佐證，有關梅雨的科展作品或實驗模擬相較於颱風及其他天氣系統仍十分稀少，或許是因為模擬梅雨過程的不可控因素過多，令梅雨難以用實驗模擬。在過去極少人研究的情況下，如果能在實驗室確實模擬出梅雨鋒面的流型，相信也是本研究的價值所在之一。

在前研究中，劉士寬等（2022）利用磁石攪拌器產生漩渦來模擬不同風向，以代表季風的流體動態，但漩渦動力更接近低壓系統，與實際季風成因不同，因為季風驅動力主要來自氣壓梯度。基於此，本研究捨棄磁石攪拌器，改採水位差來提供動力，以更符合季風的氣壓梯度特性。

已知梅雨鋒面為黏度差相似、密度差不同的氣團相互「碰撞」所產生，因此本研究以相同黏度的海藻酸鈉溶液加入不同濃度的食鹽水，用來模擬實際的冷暖氣團。而台灣地形為影響梅雨鋒面的重要因素之一，藉由調整高度比（拉高台灣山脈），可模擬出地形效應對梅雨鋒面的影響。

	前研究的梅雨流型模擬裝置 （劉士寬等，2022）	本研究的流型模擬裝置
裝置		
動力	以石攪拌器旋轉產生漩渦，帶動膠體碰撞。	讓水位高的流體自然流向水位低處，改變台灣地形障礙物角度，使流體碰撞並觀察結果。
膠體	海藻酸鈉溶液	海藻酸鈉溶液
照片		

此外，在模擬流型的實驗中，我們使用不同密度和深度之海藻酸鈉溶液，以提供密度差與位能差。當瞬間抽離擋板後，可以發現流體能夠在背風處產生類似尾流區及輻合帶的構造，尤其是 E-東風流型和 W-西風流型，流體進入角與台灣山脈的夾角越大就尤為明顯。

在過渡流型模擬部分，D-北風南下流型和 O 環流繞台型最大的差別是：D 流型是東邊吹北風、西側吹南風，鋒面有因台灣地形而彎曲斷裂的現象；環流繞台則是東側吹南風、西側吹北風，周圍沒有明顯的滯留鋒結構，在東南方容易出現旋生。

D-北風南下流型模擬部分，因為台灣山脈走向為南北向，當東北季風於東側先南下時，西側會先被山脈阻擋，因此我們透過改變台灣模型使西側面向模擬暖空氣的膠體，打開閘門，當東側模擬冷空氣的膠體南下，西側模擬暖空氣的膠體會沿山北上，便能呈現出類似 D-北風南下流型的 Z 字型斷裂現象。

O-環流繞台型模擬方法讓我們困擾許久，主要是因為東南側的旋生不易維持，我們的方法是，除了調整台灣模型的角度使東側面向模擬暖空氣的膠體，且於模型周圍製造繞台漩渦，再打開閘門讓膠體流入，便發現台灣東方出現渦旋的現象，且漩渦會慢慢朝東北移動。

伍、結論與應用

- 一、分析 2009～2024 年間各測站五、六月之降雨、風場以及大氣環境，歸納出九種流型。
- 二、將日雨量 $\geq 8.6 \text{ mm}$ 定義為顯著降雨，分析各測站的顯著降雨日數。
發現：東北部地區顯著降雨集中在冬季，推測是東北季風為迎風面帶來大量水氣，西北和西南部的從 5 月梅雨季起至颱風季顯著降雨，山區及東部地區平均顯著降雨日數較其他地區平均。
- 三、繪製顯著降雨日數等值線圖，發現顯著降雨區域整體往南移動，顯示大氣環境改變。
- 四、將流型分類為單一風向的流型：N-北風流型、NE-東北風流型、E-東風流型、SE-東南風流型、S-南風流型、SW-西南風流型、W-西風流型七種，過渡流型則有兩種，分別是：D-北風南下流型、O-環流繞台型。
- 五、將 16 年來的梅雨季逐日流型歸納為圖表，發現：
隨著時序進入六月，冷高壓勢力減退，寒冷流型（N、NE、E 流型）減少；溫暖流型（SE、S、SW 流型）增多，而過渡流型（D、O 流型）及 W-西風流型發生次數也隨梅雨季結束而減少。
- 六、歸納出三個常見的流型趨勢，其中又以北方高壓東移出海帶來東風之後，轉變為南風的趨勢最為常見，即為西南季風增強的過程。
- 七、將流型整合降雨資料後發現，幾乎所有測站皆在溫暖的西南風流型及過度流型出現最多的顯著降雨，推測是西南氣流或暖濕南風的增強帶來全台大範圍降雨，而當南北風勢力相當，使鋒面久滯台灣上空或是附近有低壓帶系統時，也將造成持續性的降水。扣除西南風及過度流型後，顯著降雨與該地區是否處於迎風面有關。
- 八、致災性梅雨主要發生於三種流型：D-北風南下流型、O-環流繞台型（低壓帶）、以及 SW-西南風流型。且案例大多由發源地在印度至孟加拉一帶的西南氣流引發。

九、以不同密度的海藻酸鈉溶液和不同角度的台灣模型，模擬不同流向、密度的流體擦撞，可模擬出與本研究相符的幾種流型，我們發現：

- (一) 單一風向流型模擬，在背風處產生類似尾流區及輻合帶的構造。
- (二) 調整台灣模型角度，可模擬出 D-北風南下流型裡的 Z 字型鋒面結構。
- (三) 調整台灣模型角度，並以低壓裝置模擬環流，可模擬出 O-環流繞台型的背風渦漩。

陸、參考文獻

1. 中央氣象署網站 (<http://www.cwb.gov.tw>)
2. 中國文化大學大氣科學研究與應用資料庫 (<https://asrad.pccu.edu.tw/dbar/>)
3. Earth Nullschool (<https://earth.nullschool.net/>)
4. 王崇穎。2015。2008-2012 年梅雨時期台灣及鄰近區域環流與降雨日夜變化之特性研究。國立中央大學大氣科學學系碩士論文
5. 呂國臣、陳來發。2002。台灣梅雨季區域降雨氣候分析。天氣分析與預報研討會論文集編。P. 95-100
6. 卓盈旻、盧孟明。2021。臺灣梅雨季雨型變化與亞洲及西北太平洋夏季風的關係。大氣科學第 49 期。P.79-108
7. 紀水上。1978。臺灣梅雨期平均環流之初步研究。大氣科學第 2 期。P.17-32
8. 陳泰然。1978。台灣梅雨期之中幅度天氣系統分析。台灣地區災變天氣研討會論文集編,國科會。P.150-157。
9. 陳正改、蔡清彥。1980。影響台灣北部區域之梅雨系統。大氣科學第 7 期。P.49-58
10. 陳正改。1998。台灣梅雨面面觀。地球科學文教基金會：地球科學園地第五期
11. 陳泰然。1987。台灣乾濕梅雨期之平均環流特徵。大氣科學第 15 期。P.17-30
12. 陳泰然、王重傑、楊進賢。2002。台灣梅雨季對流降水之時空分布特徵。大氣科學。30 (1) p. 83-97
13. 張翔鈞、黃穎豪。2019。梅雨"鋒"了嗎? -梅雨季氣候特性之探討。第 59 屆中華民國中小學科學展覽會高中組地球與行星科學科。
14. 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 屆中華民國中小學科學展覽會國中組地球科學科。

【評語】180001

本研究分析了 2009 至 2024 年間五、六月的降雨、風場流型及大氣環境。結果顯示，東北部全年多雨，而西部地區則自五月梅雨季開始進入雨季，台灣的降雨區域逐漸南移，顯示大氣環境在此期間發生變化。

工作份量很多，對梅雨季之流型有深入之解析，但結論較缺創新性，且天氣變化與降雨不只受流行之影響，也和大氣環境之特性，如穩定度、水氣通量風速強弱等。問題沒那麼單純，可以再深入探討。