

2024年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	180015
參展科別	地球與環境科學
作品名稱	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
得獎獎項	三等獎 土耳其音樂科學工程博覽會 Buca IMSEF
就讀學校	高雄市立仁武高級中學 高雄市立三民高級中學
指導教師	蘇毓智、林姝君
作者姓名	黃玉涵、江妍慈
關鍵詞	<u>流型、尾流、邊界層</u>

作者簡介



與指導老師在實驗室合影（左起：蘇毓智老師、江妍慈同學、黃玉涵同學、林姝君老師）

我們是來自仁武高中的黃玉涵以及三民高中的江妍慈，國中時曾一起參加過科展，但因疫情的關係，正在研究的題目也只能先告一段落，上高中後，便想將此作品完備，且深入研究颱風這一主題。研究的過程，無論分析或模擬，都需要相當大的耐心，從中也學習了許多教科書外的內容，雖然過程中挫折不斷，但總算看到研究結果一步步堆疊，也促使我們前進。很榮幸參與國際科展，不僅開拓我們的視野，也解鎖特別的人生經驗。

摘要

為瞭解台灣地形對西行侵台颱風的流型影響，本研究分析 24 個西行颱風於不同經度時的連續流型變化並加以歸納，我們將流型分為 5 群，分別為沿山流型、東側尾流總型、登陸流型、過山後流型、以及阻擋流型，且又分為 13 次分類，並將各種流型發生時的颱風中心位置以地圖標示之。我們發現，相似路徑的颱風會有相似的流型變化。

為了進一步探討氣流在地形作用下的變化，及造成的邊界層現象，我們開發出氣流場裝置並搭配保麗龍沙作為介質進行模擬，以雷射光分層掃描觀察不同高度的氣流走向，發現低層輻合旋入、高層輻散旋出的現象，此結果非常接近真實的颱風結構。我們也以台灣形障礙物觀察滯留、尾流、輻合及背風旋生等現象，獲得與實際颱風案例一致的結果。

Abstract

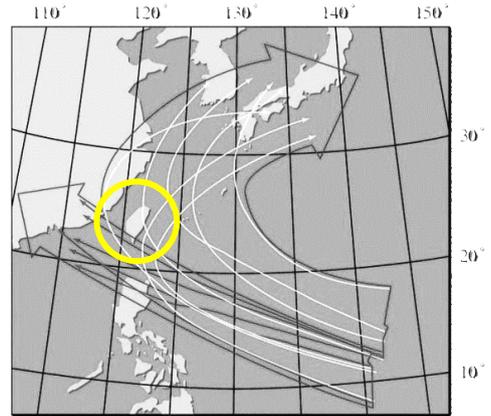
To investigate the impact of the topography of Taiwan on the flow regimes of westbound typhoons around the Taiwanese waters, this study analyzed the evolution of flow regime changes of 24 westbound typhoons at various longitudes. We grouped the flow regimes into 5 main categories: parallel flow regime, east side wake flow regime, landing flow regime, passing over mountain flow regime, and blocked flow regime. These can be further divided into 13 subcategories. The location of the typhoon center when various flow regimes occur is marked on the map. Typhoons with similar tracks were found to have similar flow regime evolution.

To delve deeper into airflow modifications under topographic influences and the corresponding boundary layer phenomena, a self-developed airflow field device and Styrofoam were used for simulation purposes. Layered scanning by laser were performed to observe airflow direction at different heights. We observed the occurrence of low-level convergent inflow and high-level divergent outflow. This result closely simulates the typhoon structure. A topographic model of Taiwan was used to observe phenomena such as stagnation, wake, convergence, and lee cyclogenesis, and the yielding results were comparable to the meteorologic data obtained from actual typhoons.

壹、研究動機

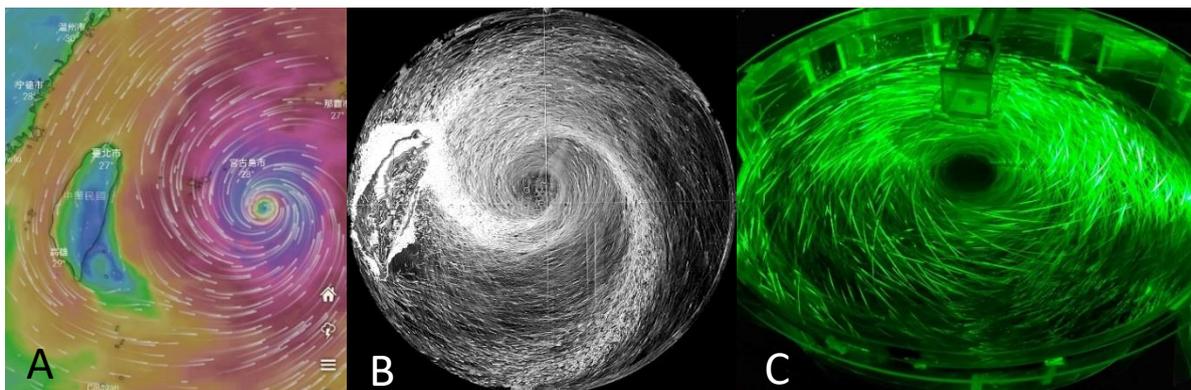
在台灣所有的氣象災害中，以颱風造成的影響最大，我們每年平均會受到 3~4 個颱風侵襲，加上台灣是全世界多高山的島嶼之一，中央山脈的陡峭地形，對於颱風運動和結構有相當大的影響，常會造成颱風的流場變形及路徑的變化。（黃清勇等，1998）。

從流體力學的角度來看，颱風遇到台灣地形時，就像是流體遇到障礙物，因氣體具有「黏性」而出現流體黏附障礙物（地表或山脈）或分離的「邊界層現象」（王時鼎等，2003）。颱風的流型變化，不只會受到其路徑影響，還包括了颱風本身的暴風半徑（強度）、登陸地點以及地形效應的作用，其造成的邊界層現象，如滯留、尾流、輻合等天氣現象，也會對台灣造成不小的影響。



圖一、東亞颱風路徑圖（圖自國立自然科學博物館網站）

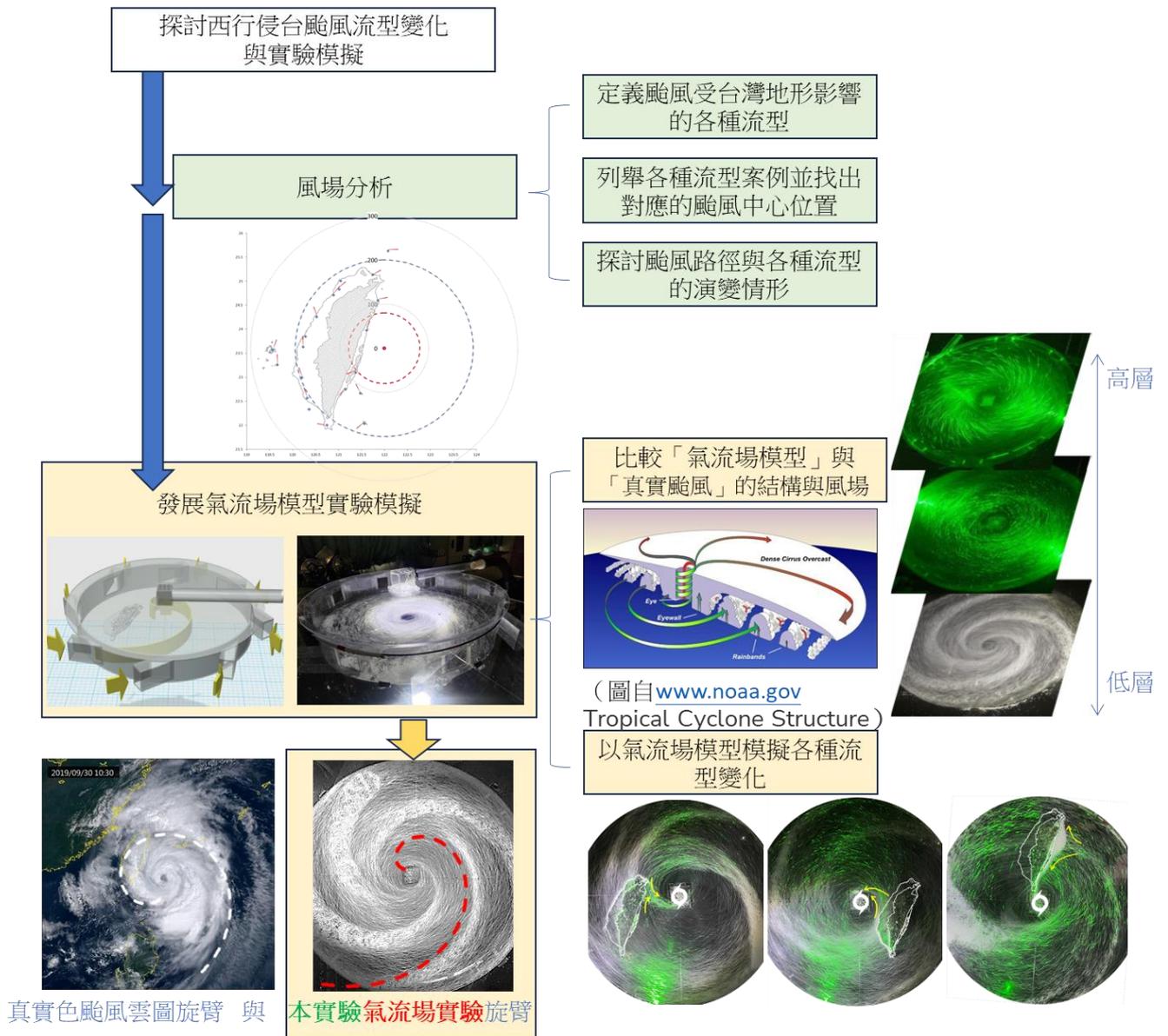
本研究想要瞭解：西行颱風從過山前後的連續流型變化趨勢及實驗模擬，為此，我們向中央氣象署申購了風速風向資料進行分析並設計改良實驗模擬。從我們過去科展報告已經知道：流型與颱風、台灣相對位置有關；且實驗室中可以模擬颱風的螺旋型氣流場（江妍慈等，2021），本研究中，我們假設：路徑相似的颱風，應有相似的流型變化趨勢，藉由分析西行各種路徑、強度大小類似的颱風流型變化趨勢性，應可預測颱風對台灣造成的影響。此外，我們改良了氣流場實驗，除利用保麗龍沙來做為介質搭配台灣形障礙物進行模擬出各種流型，也以雷射筆搭配光柵分層掃描，更清楚觀察到保麗龍沙的運動軌跡，藉此觀察颱風的垂直結構。



圖二、A. Windy 數值模擬風場 B.以保麗龍沙模擬風場及旋臂 C.以雷射光掃描保麗龍沙顆粒軌跡

貳、研究目的

- 一、 分析西行颱風的連續流型變化並歸納其規律性
 - (一) 列舉各種流型案例，並找出對應的颱風中心位置。
 - (二) 探討颱風路徑與各種流型的演變情形。
- 二、 設計氣流場模型模擬地形效應
 - (一) 探討摩擦力與風力大小造成的影響。
 - (二) 探討氣流場的水平與垂直風場。
 - (三) 模擬各種流型。



圖三、研究架構圖

參、研究設備及器材

一、研究器材

熱線式風速計 LTR-AM4204	吸塵器 TECO -XYFXJ501	探照燈	紅綠雷射筆
保麗龍沙	光柵片	熱熔槍、膠條	銲槍
塑膠片	瓦楞板	壓克力板	3D 列印機
使用軟體：Microsoft Excel、Microsoft PowerPoint、Sufer、coreldraw			



圖四、本研究使用的器材：熱線式風速計、吸塵器、探照燈、光柵與綠光、紅光雷射筆、保麗龍沙

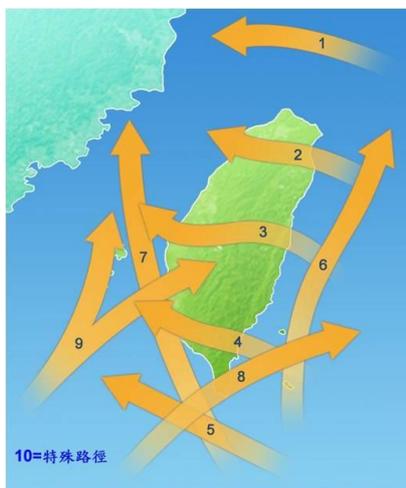
二、分析颱風列表及觀察測站選擇：

根據氣象署的九種路徑分類，選擇西行的 1~5 號路徑颱風

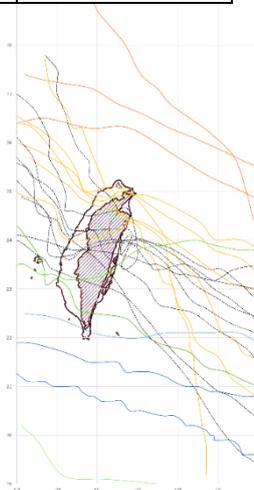
一號路徑	2006 桑美	2018 瑪麗亞	2019 利奇馬
二號路徑	1996 賀伯	2006 碧利斯	2008 卡枚基
	2013 蘇力	2015 杜鵑	2017 尼莎
三號路徑	2005 泰利	2005 海棠	2005 龍王
	2006 凱米	2008 鳳凰	2009 莫拉克
	2014 麥德姆	2015 蘇迪勒	2016 梅姬
四號路徑	2007 帕布	2010 凡那比	2016 尼伯特
五號路徑	2001 尤特	2003 杜鵑	2013 天兔

全台資料較完整的 20 個測站

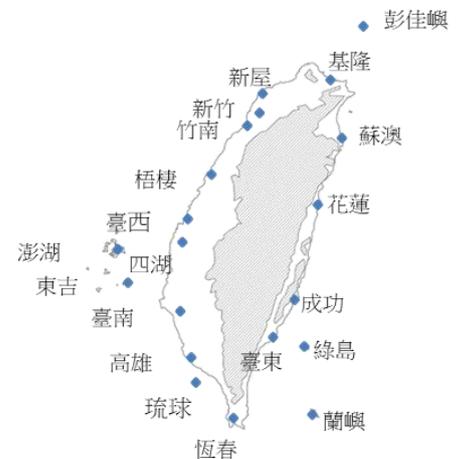
觀察測站		
蘭嶼	臺南	四湖
彭佳嶼	臺西	蘇澳
恆春	新竹	基隆
澎湖	新屋	竹南
花蓮	成功	東吉島
梧棲	綠島	琉球
臺東	高雄	



A



B



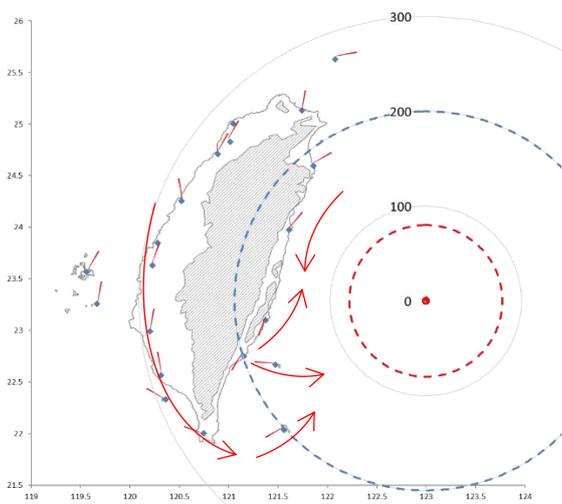
C

圖五、A.中央氣象署定義的 9 種侵台颱風路徑（本研究選擇西行的 1~5 號路徑分析）B.本研究分析的 24 個西行侵台颱風路徑 C.本研究選擇的 20 個觀察測站

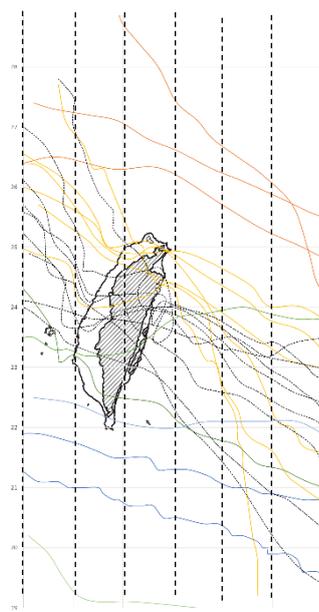
肆、研究方法

一、風場分析及製作

- (一) 至中央氣象署找尋要分析之颱風。
 - (盡可能選擇中度以上且暴風半徑大於等於 200km 的颱風)
- (二) 下載颱風警報單，收集颱風基本資料。
 - (颱風強度、最大陣風風速、暴風半徑、特定經度和緯度的時間等)
- (三) 挑選各測站逐時風向資料，利用 Excel 圓餅圖標示各測站位置上的風向及風標，並放上台灣地圖（圖五中灰色區塊為海拔 500m 以上區域）。
- (四) 以紅色及藍色區別暴風半徑（藍色為七級、紅色為十級）
- (五) 分析並歸納每個颱風在 119~124° E 對台灣所造成的流型變化。



圖六、流型判別示意圖



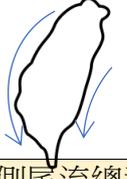
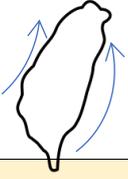
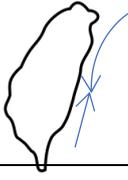
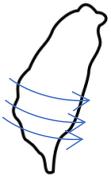
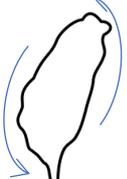
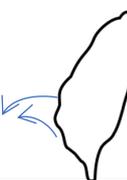
圖七、本研究分析的颱風路徑與流型分析之經度示意圖

幾種特別留意的流型判斷

輻合		旋生		繞山迴流		沿山流	
滯流區		尾流		爬山流			

二、流型分類

- (一) 我們繪製完風場圖之後，將相似的流型進行分類及編碼，一共分出 5 種總型、13 種次分類流型，簡圖如下：

沿山流型			
(1)全台北風 	(2)全台南風 	氣流進入角與台灣山脈夾角較小 氣流沿山而行。	
東側尾流總型			
(3)東南輻合尾流 	(4-1) 東北輻合 	(4-2) 東部輻合 	(5)東南迴流 
(6)東南旋生 	颱風在台灣東方，因中心所在位置不同，氣流沿山與繞山時的交互作用，出現尾流、旋生或輻合的狀況。		
登陸流型			
(7)南部爬山 	(8)環流繞台 	颱風中心在陸地或離陸地很近時， 氣流繞島而行或動能足以爬山。	
過山後流型			
(9-1)西北側尾流 	(9-2)中南部尾流 	颱風過山後氣流混亂，在海峽上組織好中心後，西側或西北側出現尾流或旋生。	
阻擋流型			
(10)西側滯流 	(11)東側滯流 	颱風氣流與山脈迎風面出現阻擋流型或滯流區。	

- (二) 如果同時具有兩種流型也會註記。
 (三) 歸納同流型的颱風，並推演各種流型對應的中心位置。

三、氣流場實驗模擬

(一) 裝備設置

1. 使用塑膠片作氣流場模擬裝置（直徑 45cm、高 8cm），以玻璃為底，下方以粗細 0.5cm 釣魚線作為座標，每隔 2cm 畫一點。
2. 距底部 2cm 處開一 4x4cm 的方形開口，共開 8 個，且相互對稱。
3. 用投影片作寬 6cm、斜邊長 5.5cm、高 4cm 引流板，幫助氣流沿切線進入。
4. 盒蓋由直徑 48cm、厚 5mm 的壓克力製成，在中心處切割邊長 4cm 的正方形放置吸塵器硬直管。
5. 以吸管做風洞來穩定氣流，再利用抽風裝置改變風力強弱。
6. 為減弱靜電，利用金屬篩網篩下保麗龍沙，1.5g 為模擬地形效應，3g 則是觀察颱風旋臂。
7. 放置台灣形障礙物，觀察流型變化。
8. 以探照燈由下往上打光觀察旋臂變化，並以雷射筆搭配光柵分層掃描風場。

(二) 台灣形障礙物製作：

繪製台灣等高線地形圖，將台灣分每 500m 為一層，共 6 層。分別以壓克力板為材質製作了不同大小（全長 16.5cm、18.5cm、20.5cm）及不同厚度 2mm（1.2cm 高）、3mm（1.8cm 高）、5mm（3cm 高）進行模擬

(三) 摩擦係數測量：

本研究利用傾斜法來測量摩擦係數，選擇摩擦力較小且具有重量的物體，分別放置在玻璃、黑板以及黑紙上來測試，逐漸增加斜面的傾角，直到物體開始滑落的瞬間即停止，測量滑動時與平面的夾角，則可以算出摩擦係數。

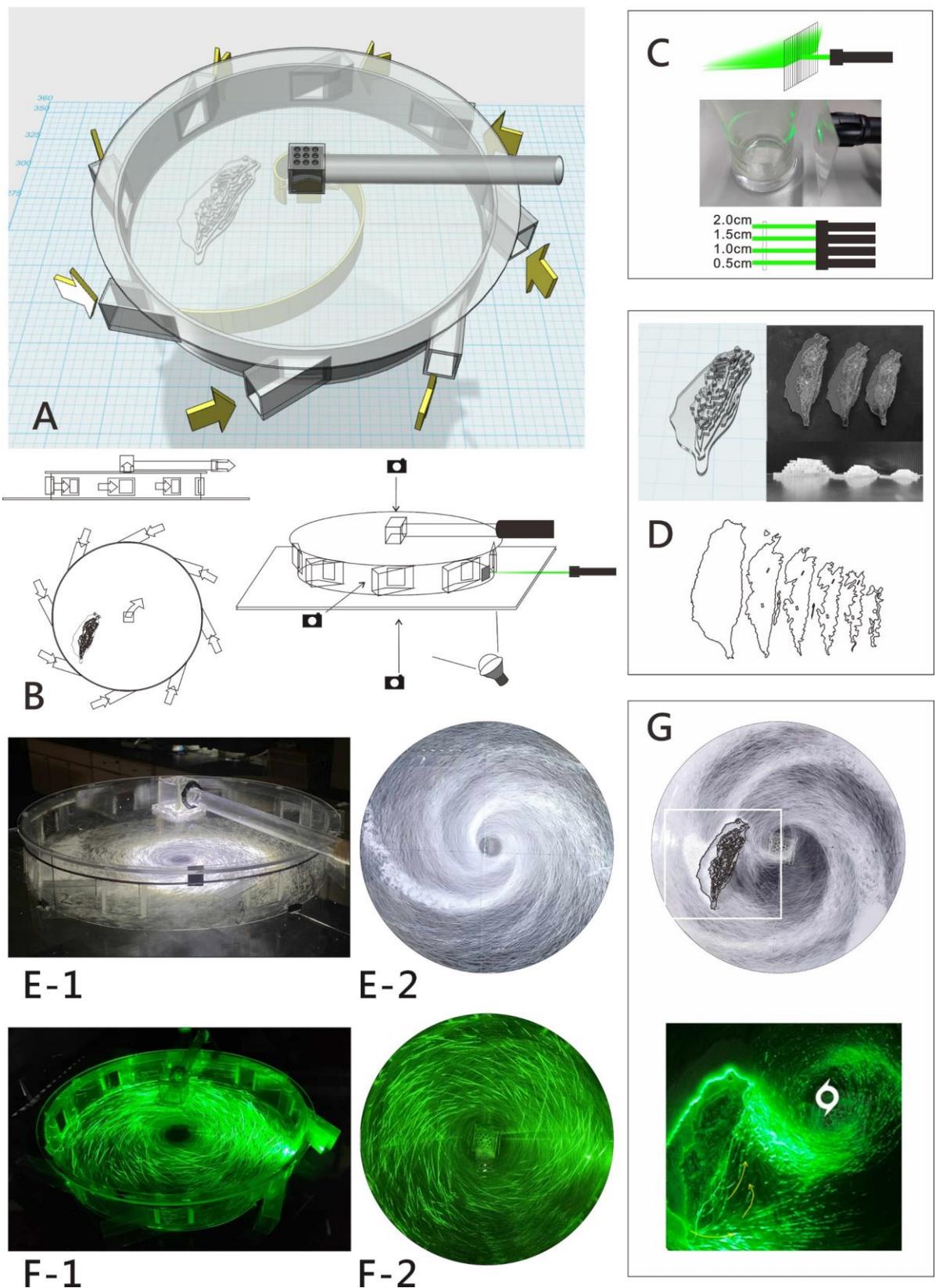
四、氣流場分析

(一) 平面風場

1. 將上蓋從圓心開始每隔 4cm 挖一個洞，共 5 洞。
2. 每個引流板各測三次求平均，輸入 Sufer 畫出風場風速圖。

(二) 垂直風場

1. 選擇其中一引流板，將風速計分別放置於氣流場內 2cm 高以及 4cm 高的位置來測量風速。
2. 每個位置各測三次求平均，輸入 Sufer 畫出風場風速圖。



圖八、本實驗所使用的氣流場裝置圖。

- A. 氣流場 3D 示意圖。
- B. 仰視、平視及俯視氣流場示意圖，拍攝位置由下往上(主要)、側向、及由上往下拍照。
- C. 雷射筆搭配光柵進行水平掃描。D. 台灣形障礙物製作。
- E. 加入保麗龍沙進行實驗操作，並觀察其旋臂。F. 保麗龍沙的運動軌跡（圖為兩公分高的風場掃描）。
- G. 觀察地形效應，低層觀察保麗龍沙堆積，高層觀察科氏力運動軌跡。

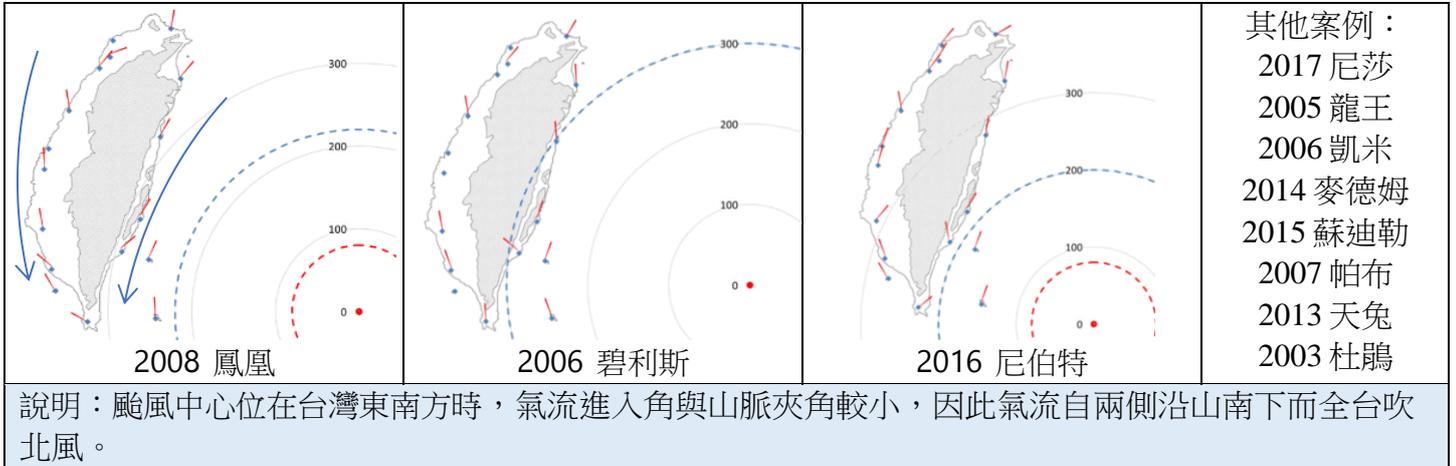
伍、研究過程與結果

一、 分析西行颱風的連續流型變化並歸納其規律性

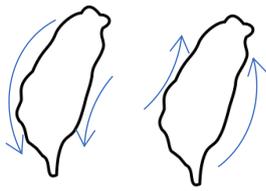
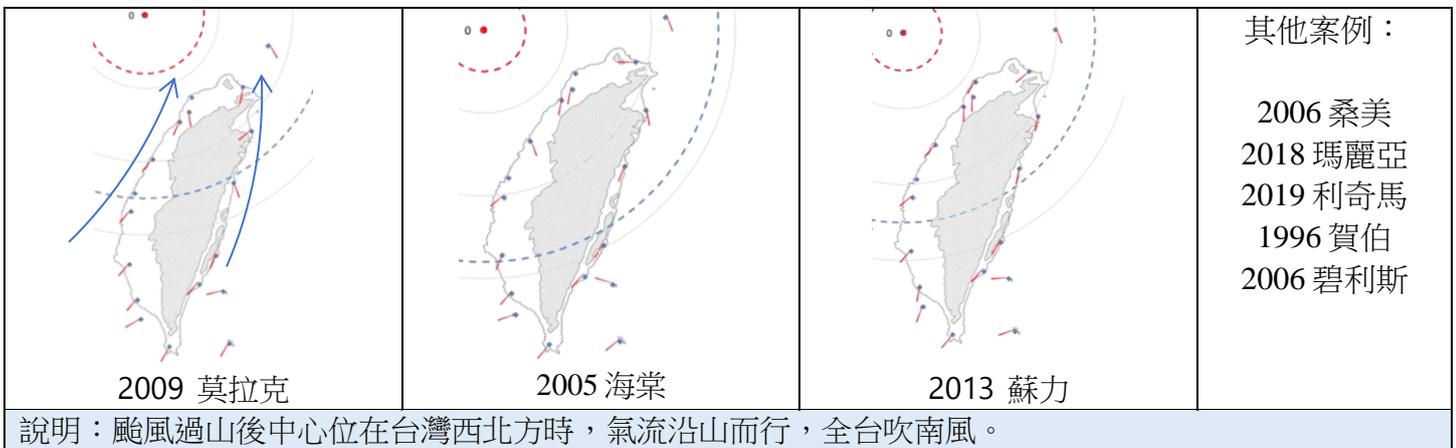
(一) 列舉各種流型案例，並找出對應的颱風中心位置。

沿山流型

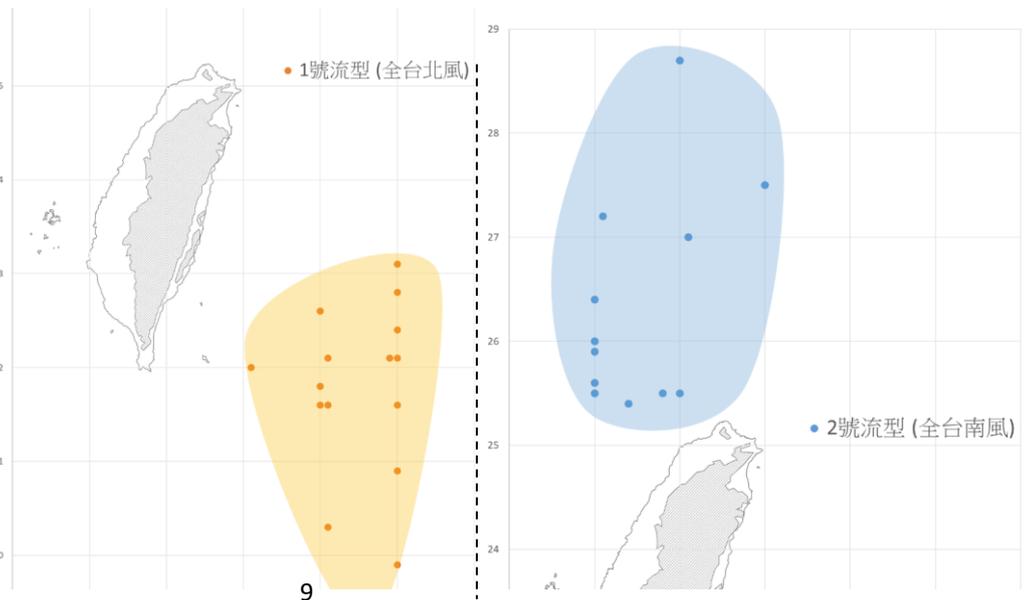
1 號流型—全台北風（僅列出部分案例）



2 號流型—全台南風



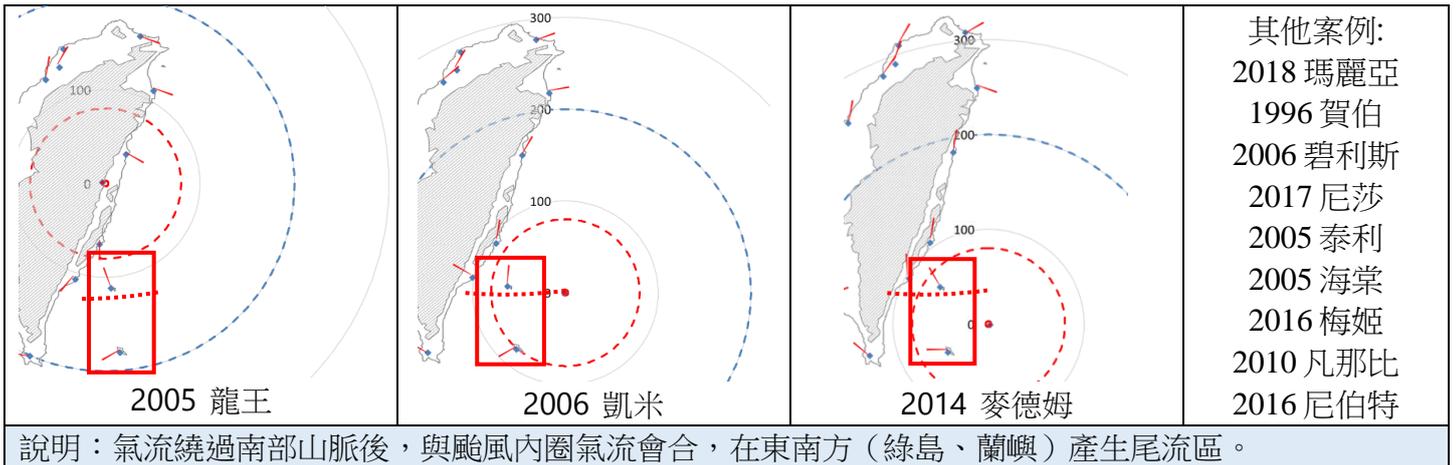
說明：
颱風外圍環流不受地形影響，氣流沿著山脈而行，加上進入角與山脈夾角較小，因此以沿山流為主。



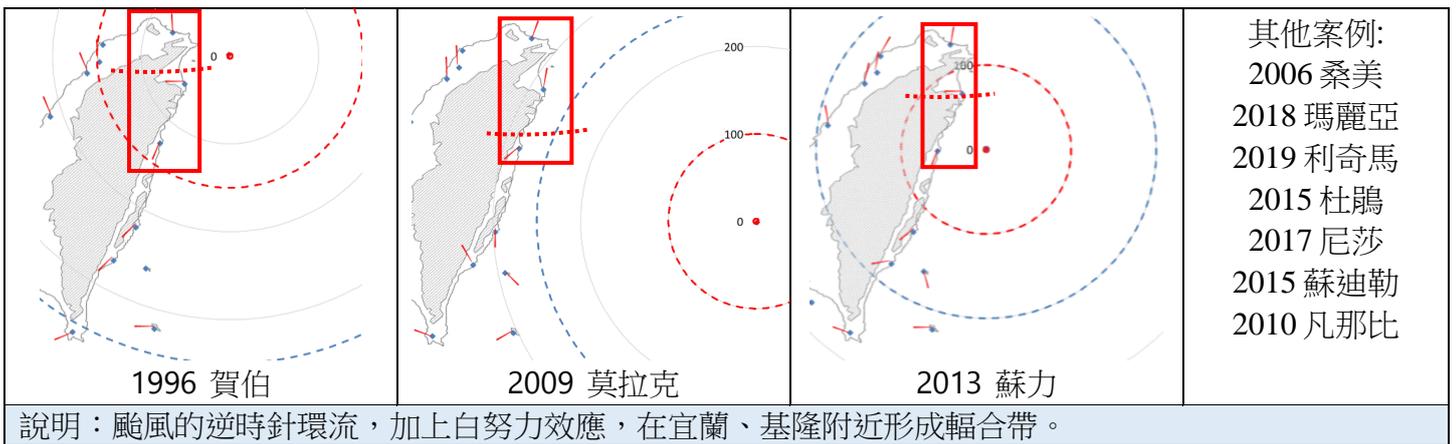
出現 1、2 號流型時的颱風中心位置

東南尾流總型

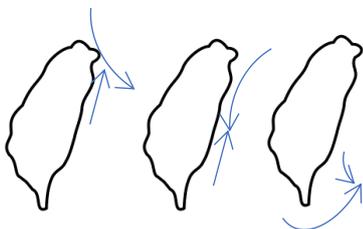
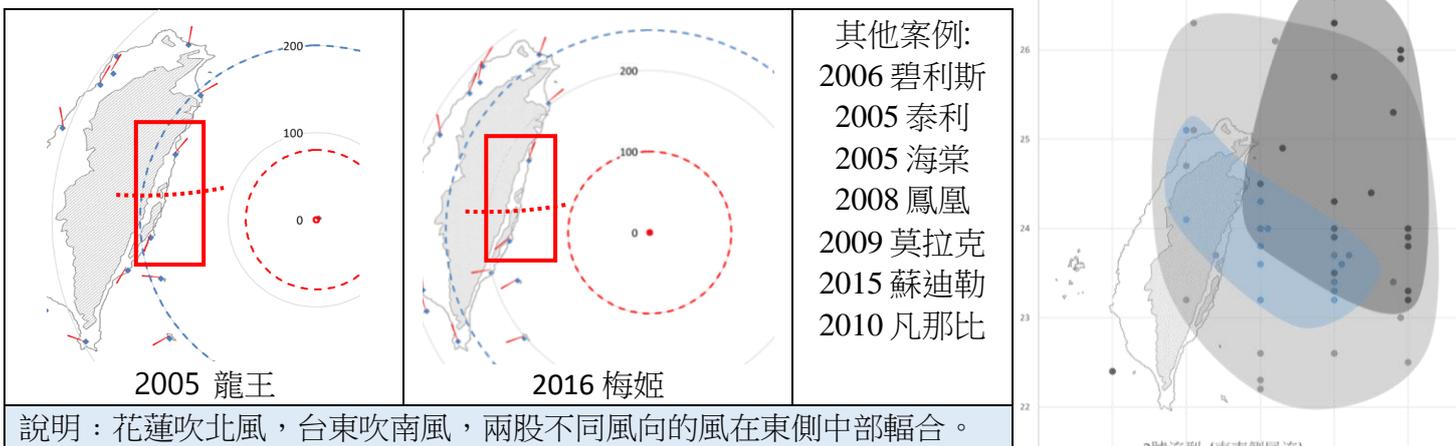
3 號流型－東南尾流



4-1 號流型－東北輻合



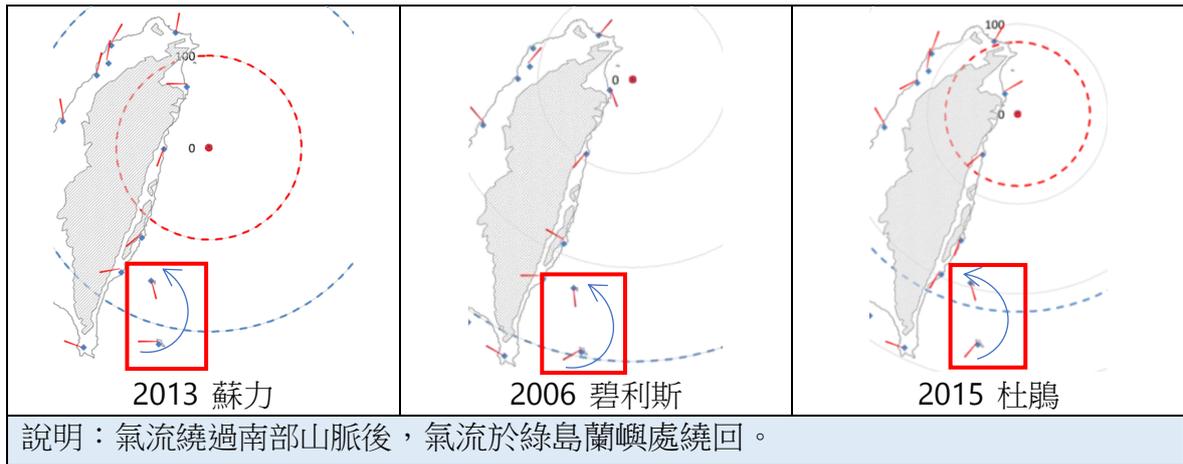
4-2 號流型－東部輻合



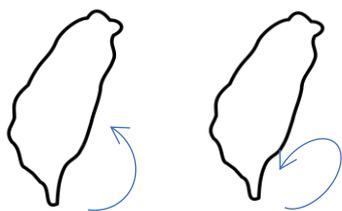
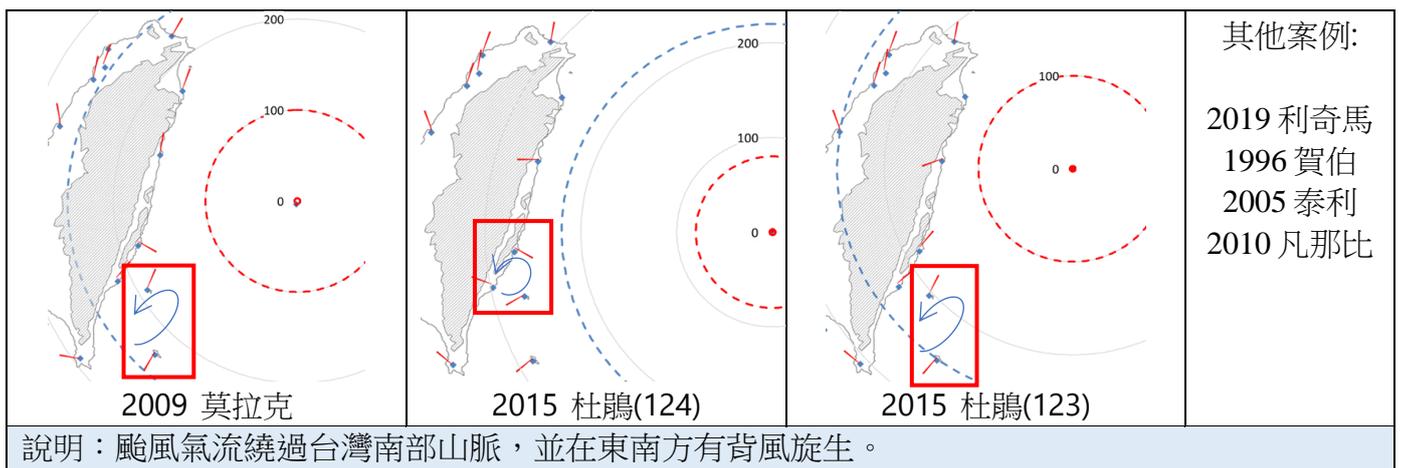
說明：
 颱風逐漸靠近台灣時，會在東側產生尾流區或輻合帶，而形成位置與颱風中心緯度高低有關。

出現 3、4-1、4-2 號流型時的颱風中心位置

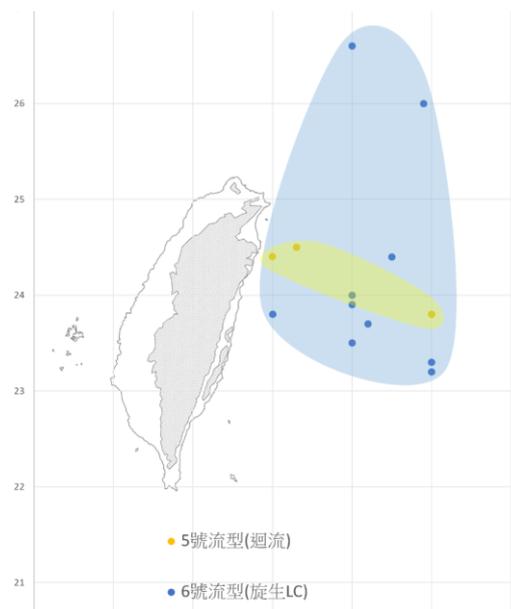
5 號流型－東南迴流



6 號流型－東南旋生



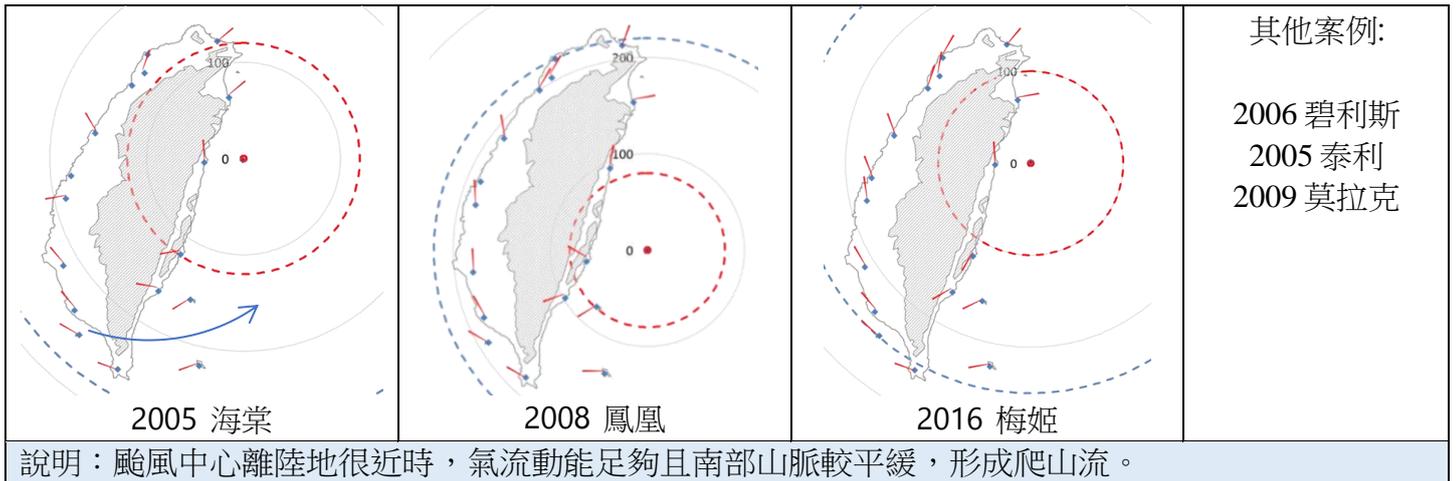
說明：
颱風中心位在台灣東北側時，氣流繞過南部山脈後，可能會在東南方產生背風旋生或迴流。



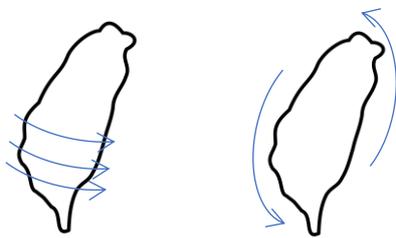
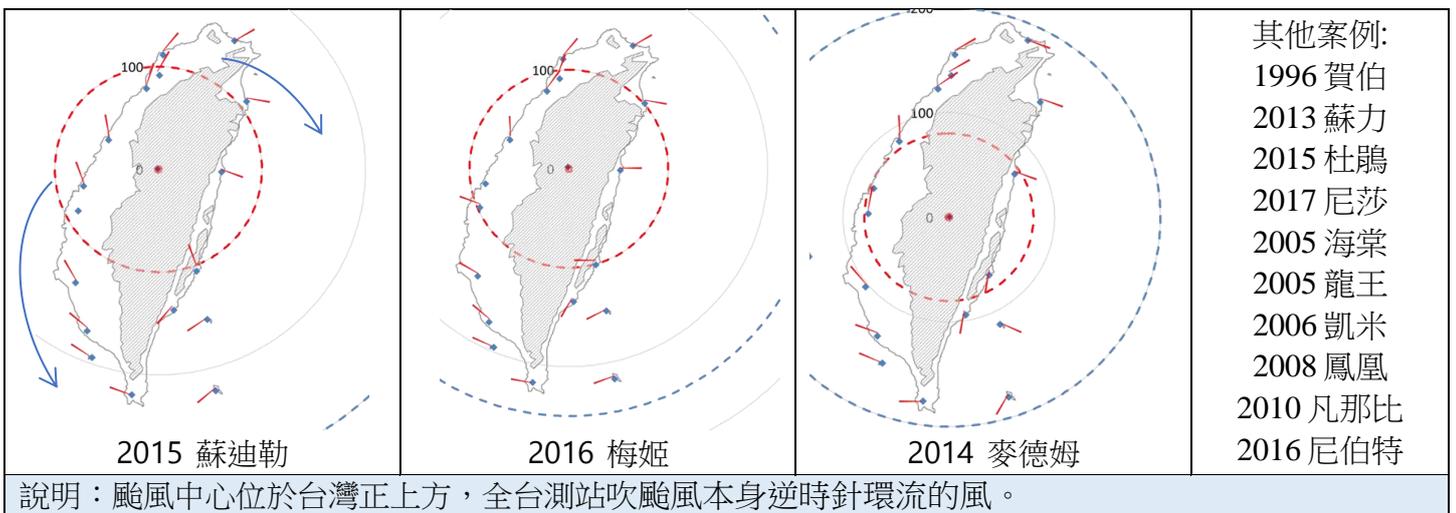
出現 5、6 號流型時的颱風中心位置

登陸流型

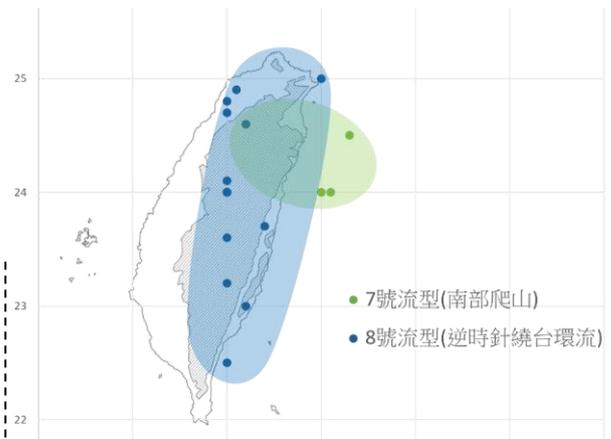
7 號流型－南部爬山



8 號流型－環流繞台



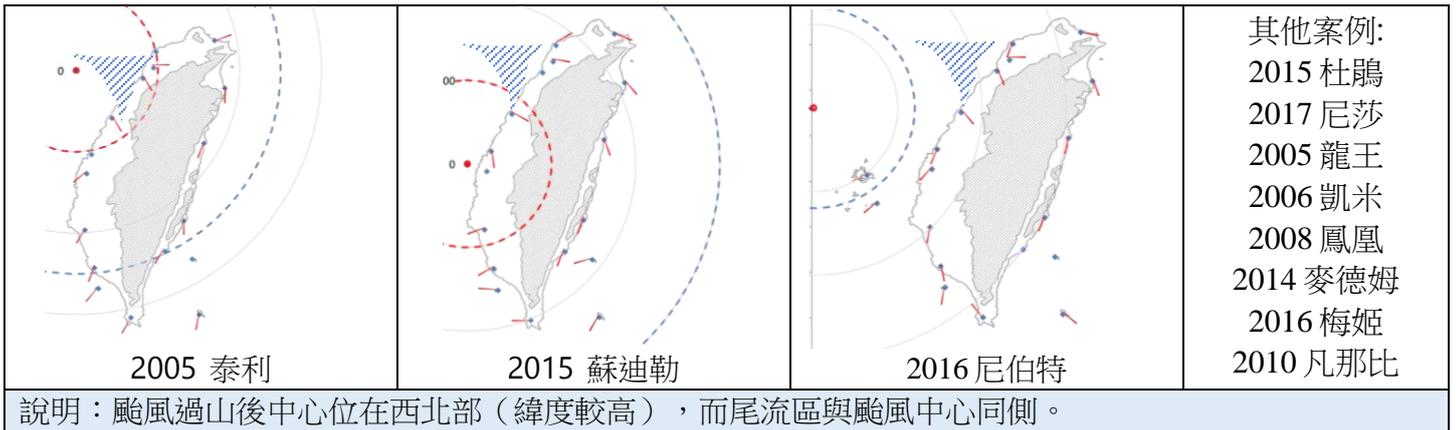
說明：
當颱風接近台灣陸地或中心位於本島上時，氣流動能足夠能爬山，或是全台吹颱風本身逆時針環流的風。



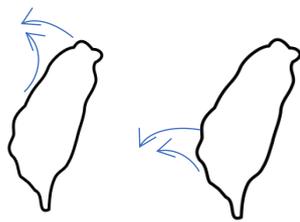
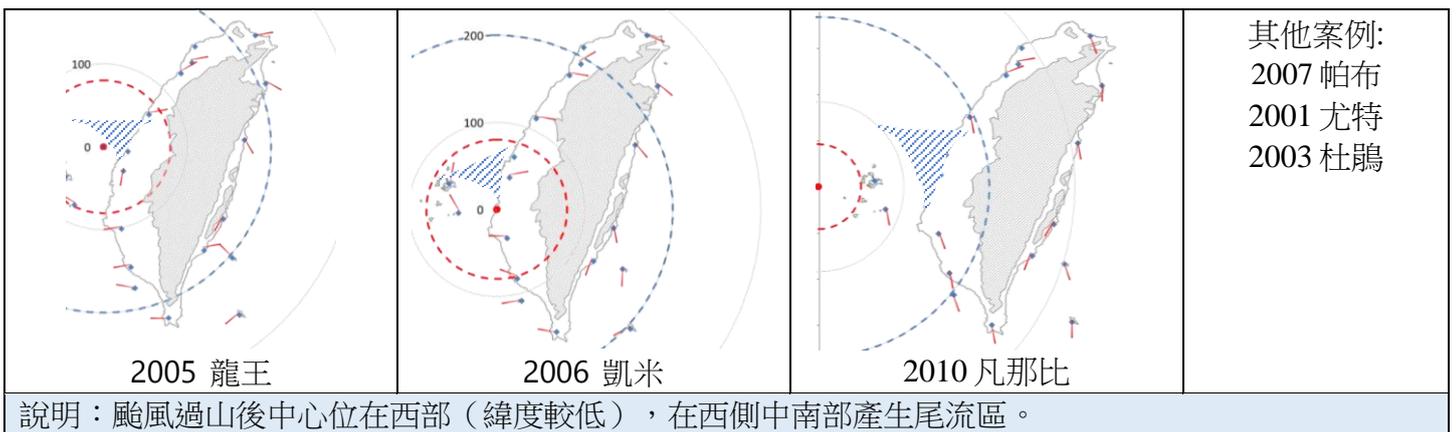
出現 7、8 號流型時的颱風中心位置

過山後流型

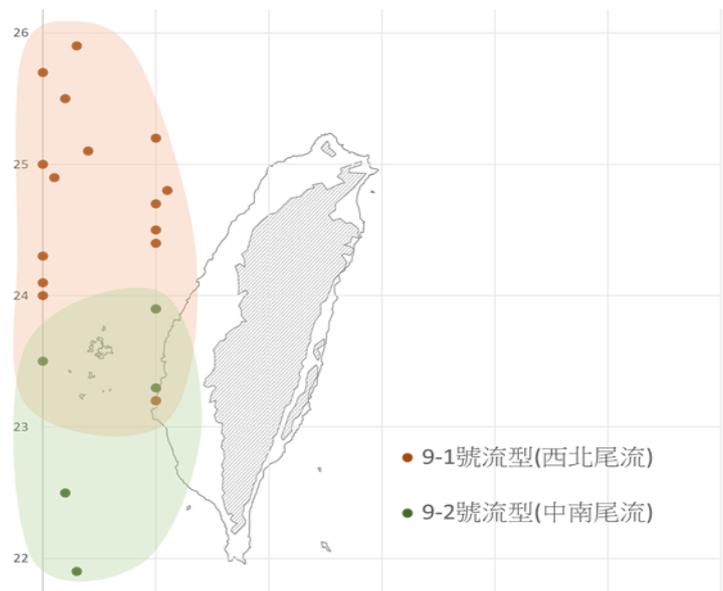
9-1 號流型－西北側尾流



9-2 號流型－中南部尾流



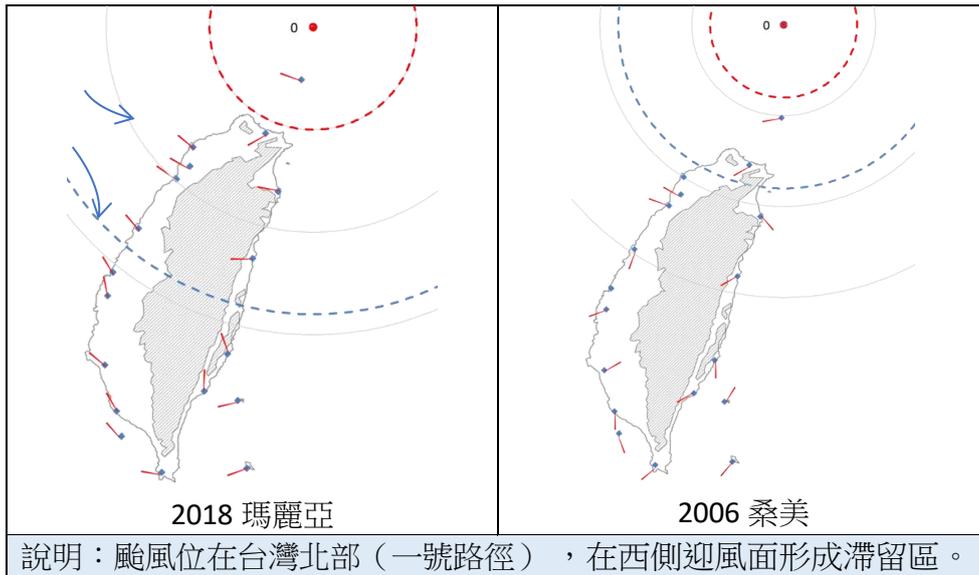
說明：
颱風過山後氣流混亂，海峽上組織好中心後，在西側或西北側出現尾流或旋生。



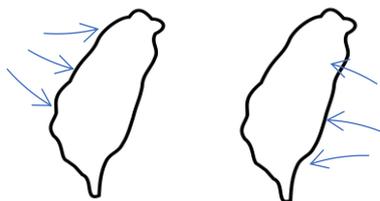
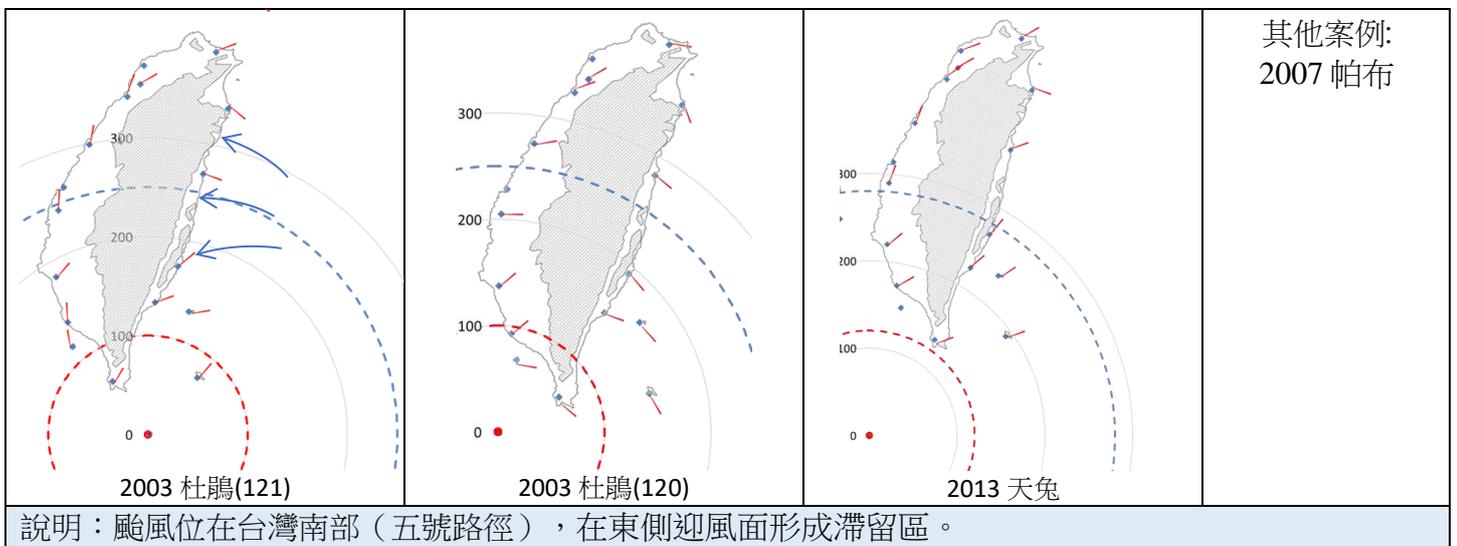
出現 9-1、9-2 號流型時的颱風中心位置

阻擋流型

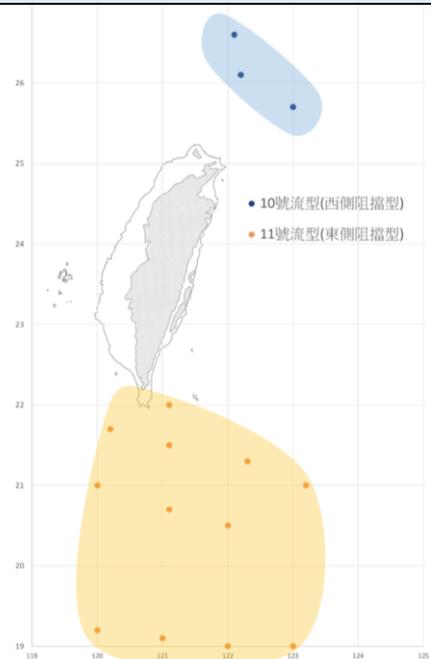
10 號流型－西側滯流型



11 號流型－東側滯流型



說明：
颱風氣流受地形阻擋，在山脈迎風面出現阻擋流型或滯留區。



出現 10、11 號流型時的颱風中心位置

(二) 探討颱風路徑與各種流型的演變情形

沿山流型 (1) 全台北風 (2) 全台南風	東側尾流總型 (3) 東南輻合尾流 (4-1) 東北輻合 (4-2) 東部輻合 (5) 東南迴流 (6) 東南旋生	登陸流型 (7) 南部爬山 (8) 環流繞台	過山後流型 (9-1) 西北側尾流 (9-2) 中南部尾流	阻擋流型 (10) 西側滯流 (11) 東側滯流
------------------------------	--	------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------

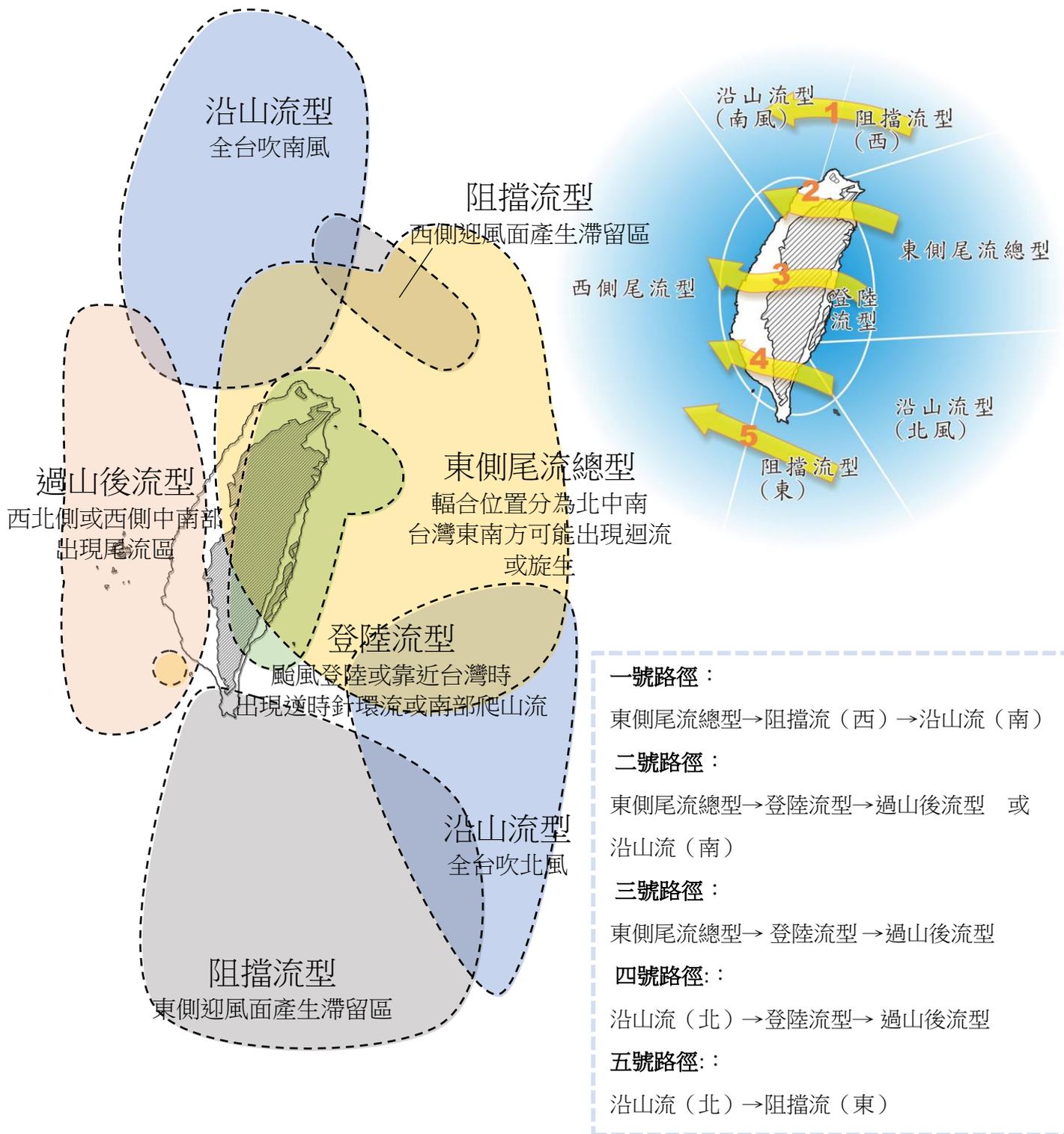
路徑	颱風名稱	颱風經度								
		124		123		122		121	120	119
1	2006 桑美	4-1		4-1		10		2	2	遠離台灣
	2018 瑪麗亞	4-1	3	4-1	10	3	10	3	2	遠離台灣
	2019 利奇馬	4-1	6	4-1	6	2		2	遠離台灣	遠離台灣

路徑	颱風名稱	颱風經度								
		124		123		122		121	120	119
2	1996 賀伯	4-1	3	4-1	6	4-1		8	2	遠離台灣
	2006 碧利斯	1		4-2		5	7	3	2	遠離台灣
	2013 蘇力	4-1	5	4-1		8		8	2	遠離台灣
	2015 杜鵑	4-1	6	4-1	6	5	8		9-1	9-1
	2017 尼莎	1		3		4-1		3	8	9-1

路徑	颱風名稱	颱風經度									
		124		123		122		121	120	119	
3	2005 泰利	3		4-2	6	4-2	7	原中心消失	9-1	9-1	
	2005 海棠	3		4-2		4-2	7	8	7	2	遠離台灣
	2005 龍王	1		4-2	3	4-2	3	3	8	9-2	9-1
	2006 凱米	未達警戒		1		3		8		9-2	9-1
	2008 鳳凰	1		1		4-2	7	4-2	8	9-1	9-1
	2009 莫拉克	4-1	6	6		4-2	7	2(西南氣流)		2	遠離台灣
	2014 麥德姆	未達警戒		1		3		8		9-1	9-1
	2015 蘇迪勒	1		4-2		4-1		8		9-1	9-1
	2016 梅姬	3		4-2		4-2	7	8		9-1	9-1

路徑	颱風名稱	颱風經度									
		124		123		122		121	120	119	
4	2007 帕布	1		1		1		11	4-1	9-2	
	2010 凡那比	4-1	3	4-1	6	4-2		3	8	9-1	9-2
	2016 尼伯特	未達警戒		1		3		8		9-1	9-1

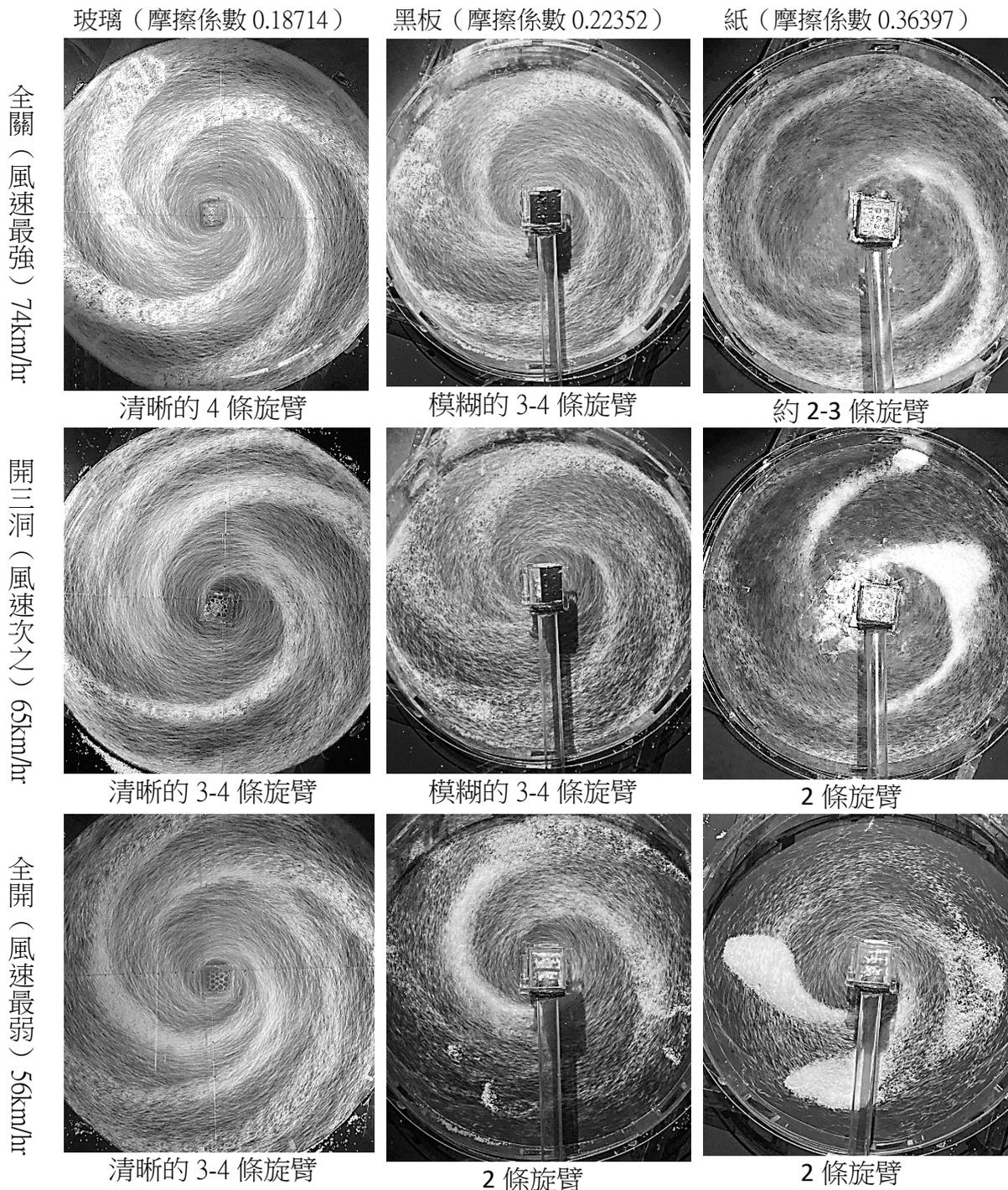
路徑	颱風名稱	颱風經度								
		124		123		122		121	120	119
5	2013 天兔	1		1		1		1	11	遠離台灣
	2001 尤特	11		9-2	11	11		11	11	遠離台灣
	2003 杜鵑	9-2	1	11		11		11	11	遠離台灣



圖九、各種流型發生時的颱風中心位置分布 以及 各種路徑颱風對應的流型變化

二、設計氣流場模型模擬地形效應

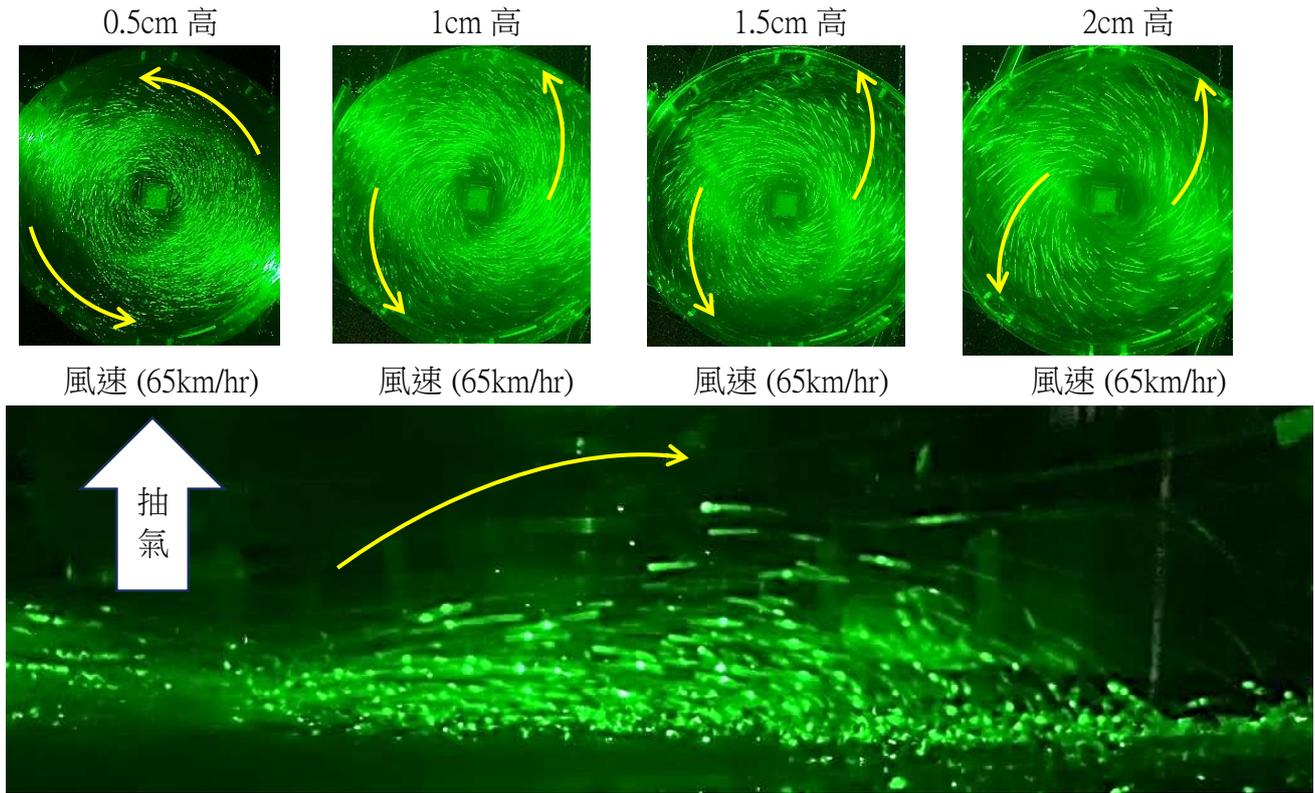
(一) 探討摩擦力與風力大小造成的影響



利用吸塵器模擬上升氣流（氣壓梯度力），控制引流板使氣流向右旋入（科氏力），選擇不同底層材質（地表摩擦力）來探討不同地表摩擦力對旋臂的影響。接著利用玻璃、黑板、白紙進行模擬，發現摩擦力越小，旋臂數量多且明顯，而風速強弱也會影響旋臂的清晰度。

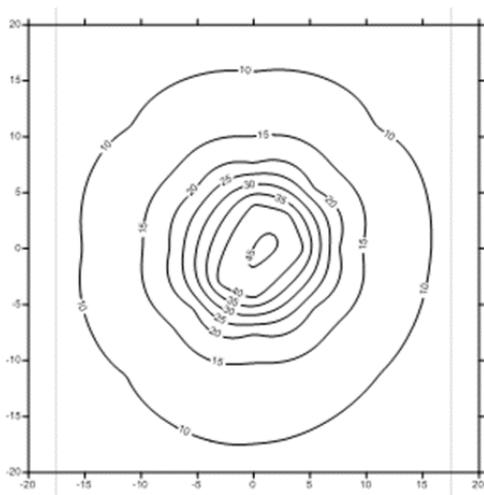
(二) 探討氣流場的水平與垂直風場

1. 以雷射筆搭配光柵分層掃描

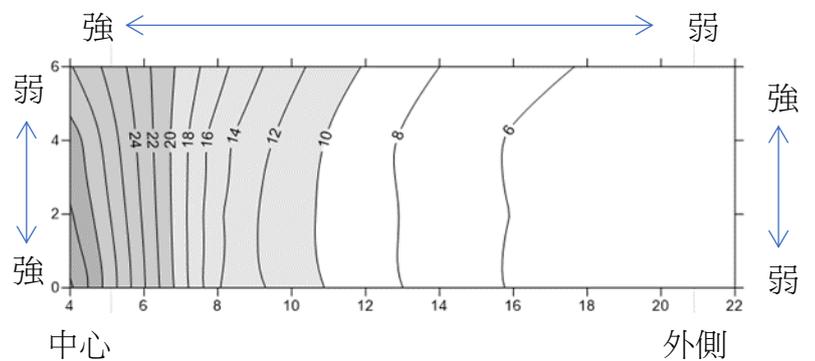


從上方雷射筆所掃描的圖中我們可發現：

氣流在 1cm 以下屬於逆時針向內旋入，1.5cm 處氣流開始有旋出的情況，而在 2cm 處可發現氣流已明顯旋出，導致保麗龍沙向外噴出，此現象符合颱風結構低層輻合、高層輻散的情形。



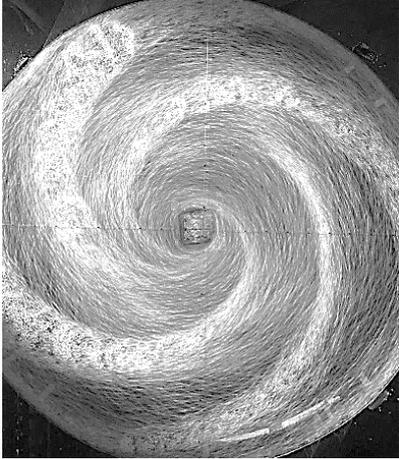
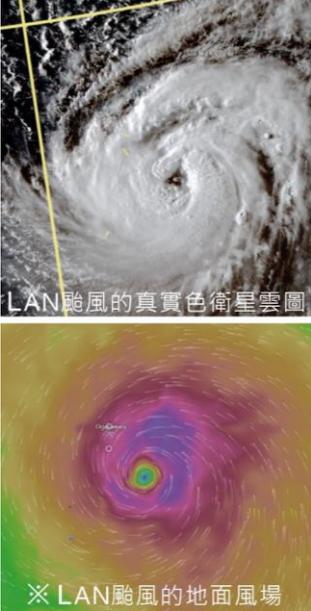
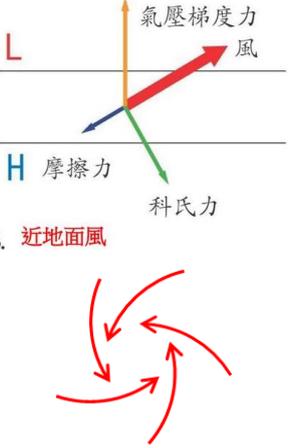
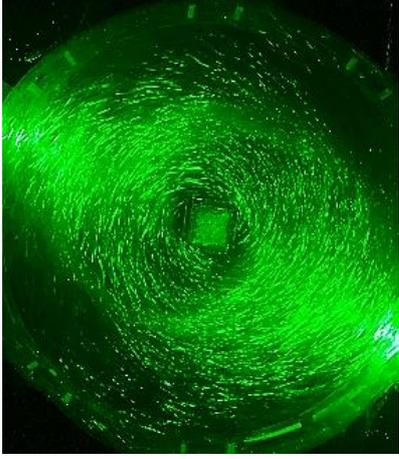
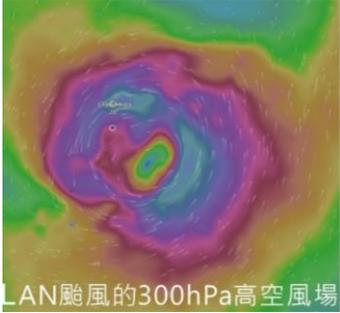
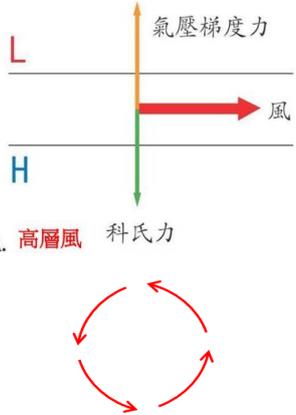
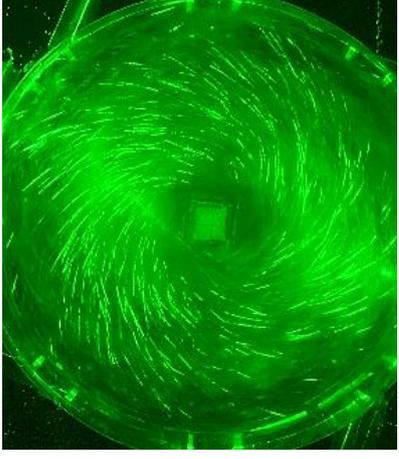
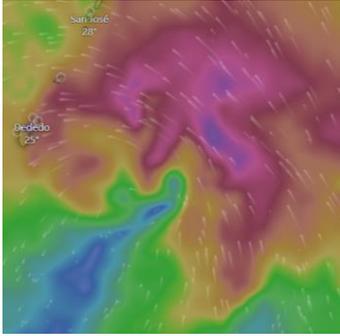
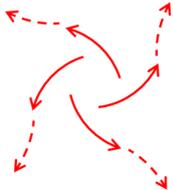
水平風場



垂直風場

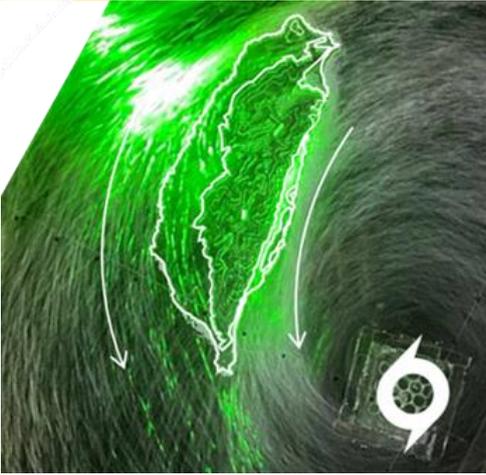
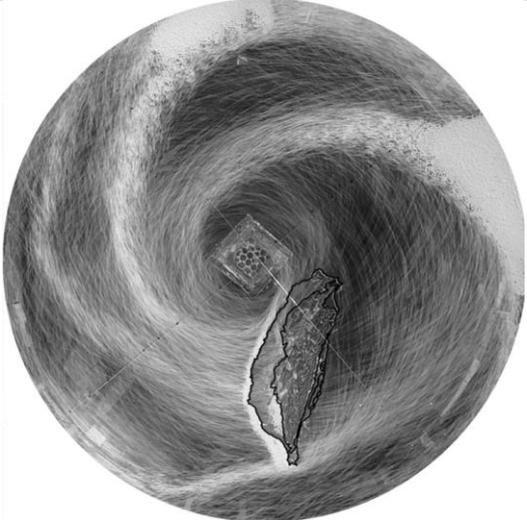
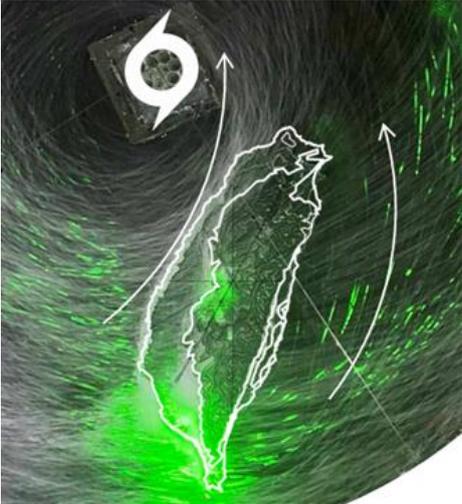
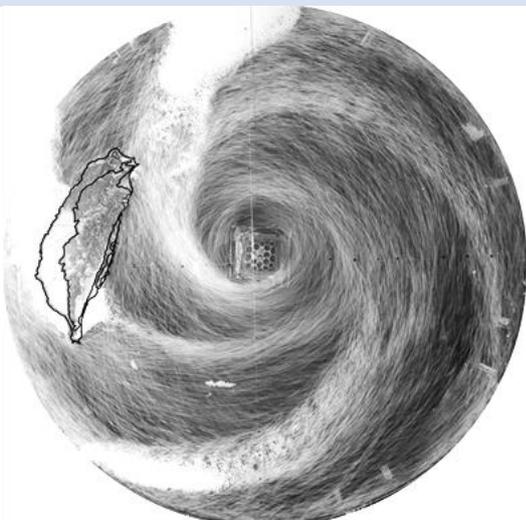
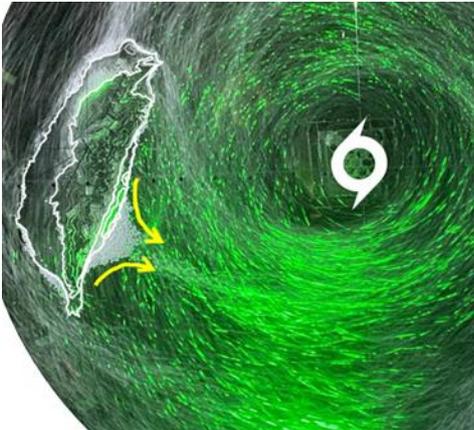
我們發現：

在水平風場的风速圖中，近地面的風速越靠近中心會越強，而垂直風場內的風速分布，外側上強下弱，上側則是內強外弱，導致上層保麗龍沙會有向外噴出的情形。

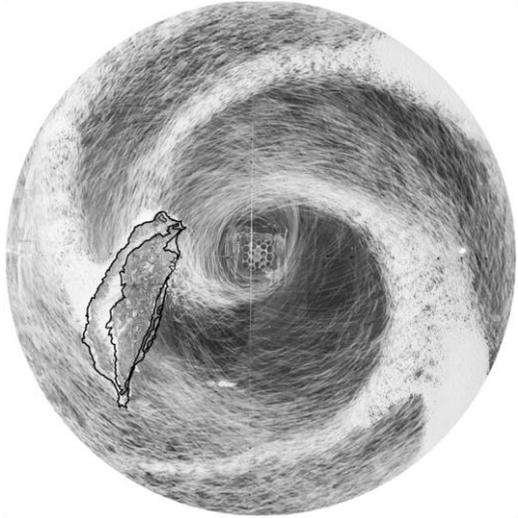
	本實驗模擬 (保麗龍沙搭配氣流場實驗)	颱風雲圖及風場 (圖自中央氣象署、windy 網站)	說明 (近地面風及地轉風圖自高中課本)
低層	 <p>底層(0cm 深)</p>	 <p>LAN颱風的真實色衛星雲圖</p> <p>※ LAN颱風的地面風場</p>	 <p>B. 近地面風</p> <p>颱風為低壓系統，近地面風受氣壓梯度力、摩擦力、科氏力影響，氣流向內旋入；本氣流場模擬裝置底層也有此現象，保麗龍沙堆積向內旋入。</p>
中層	 <p>中層(0.5cm 深)</p>	 <p>LAN颱風的300hPa高空風場</p>	 <p>A. 高層風</p> <p>高層地轉風成因，少了摩擦力，氣壓梯度力與科氏力平衡</p>
高層	 <p>高層(2cm 深)</p>	 <p>250hPa 風場</p>	 <p>颱風高層氣流向外旋出，先逆時針向外旋，最外變成順時針出的現象) (本模擬器無法模擬順時針旋出的現象)</p>

2. 模擬各種流型

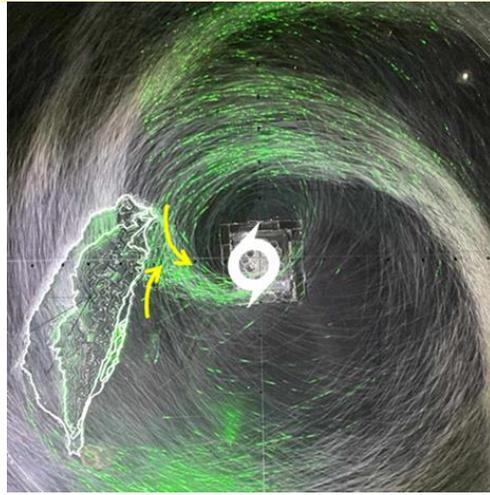
(低層風場為保麗龍沙堆積處為風速較弱處；高層掃描為觀察 0.5cm 高的保麗龍沙軌跡)

低層風場，保麗龍沙旋臂堆積處	高層風場，觀察保麗龍沙軌跡	方法
		<p>(1)號流型： 全台北風</p> <p>風力大小： 開三洞 (65km/hr)</p> <p>障礙物： 長 16.5cm/高 1.8cm</p>
<p>說明：氣流進入角小，保麗龍沙順著氣流沿東西兩側由北往南吹，無明顯堆積。</p>		
		<p>(2)號流型： 全台南風</p> <p>風力大小： 開三洞 (65km/hr)</p> <p>障礙物： 長 16.5cm/高 1.8cm</p>
<p>說明：氣流進入角小，保麗龍沙順著氣流沿東西兩側由南往北吹，無明顯堆積。</p>		
		<p>(3)號流型： 東南輻合尾流</p> <p>風力大小： 開三洞 (65km/hr)</p> <p>障礙物： 長 16.5cm/高 1.8cm</p>
<p>說明：氣流在東南側輻合，保麗龍沙堆積在東南部，形成狹長尾流區。</p>		

低層風場，保麗龍沙旋臂堆積處



高層風場，觀察保麗龍沙軌跡

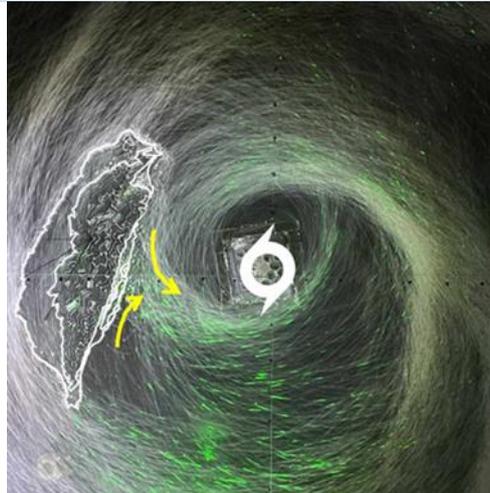
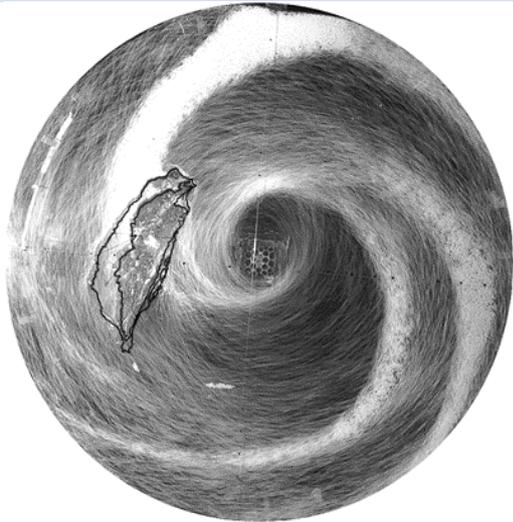


方法

(4-1)號流型：
東北輻合

風力大小：
開三洞
(65km/hr)
障礙物：
長 16.5cm/高 1.8cm

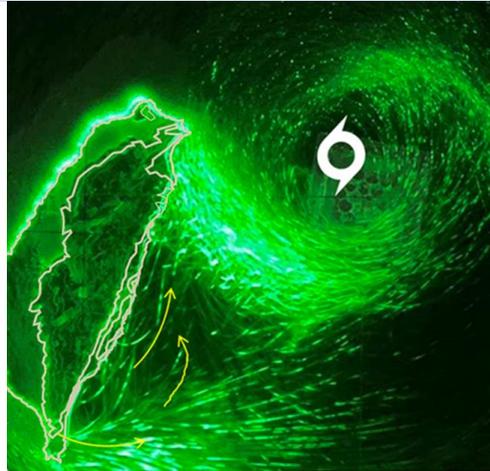
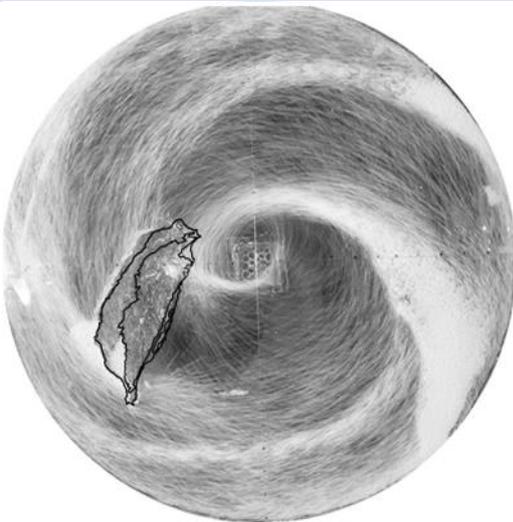
說明：氣流在北側輻合，保麗龍沙在北部堆積。



(4-2)號流型：
東部輻合

風力大小：
開三洞
(65km/hr)
障礙物：
長 16.5cm/高 1.8cm

說明：氣流在中側輻合，保麗龍沙在中部堆積。



(5)東南迴流
(6)東南旋生

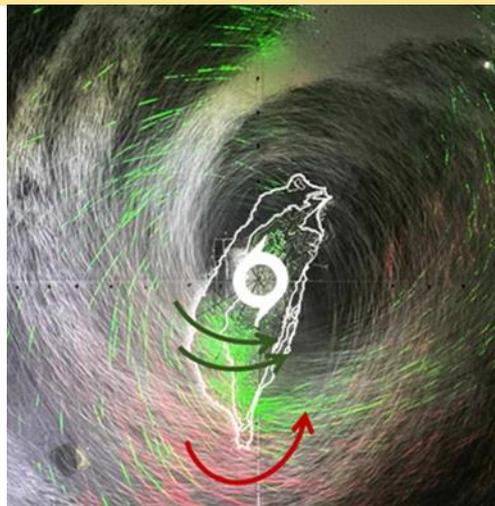
風力大小：
開三洞
(65km/hr)
障礙物：
長 16.5cm/高 1.8cm

說明：保麗龍沙繞過台灣南部後沿著東部山脈北上與颱風氣流會合。

低層風場，保麗龍沙旋臂堆積處

高層風場，觀察保麗龍沙軌跡

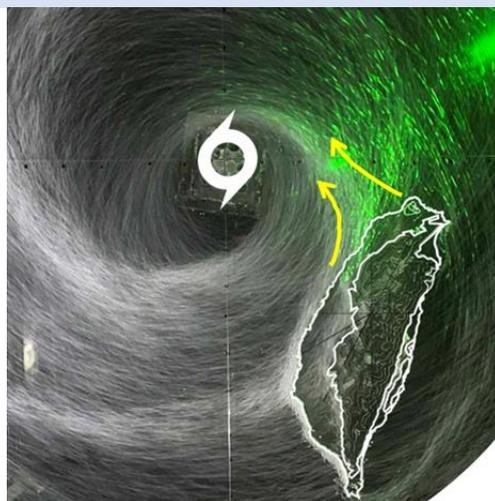
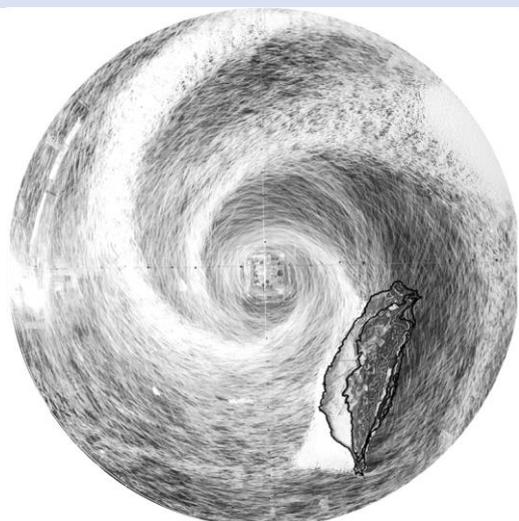
方法



- (7)南部爬山
- (8)環流繞台

風力大小：
開三洞
(65km/hr)
障礙物：
長 16.5cm/高 1.8cm

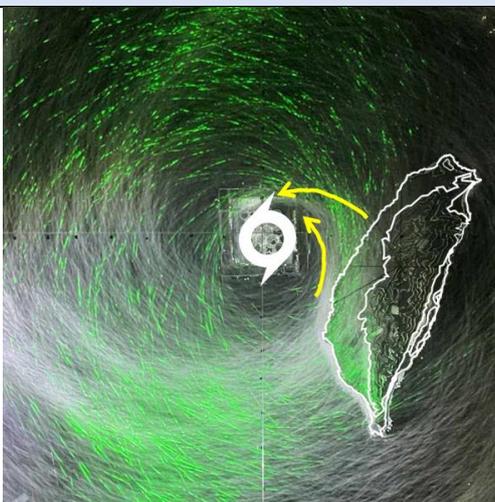
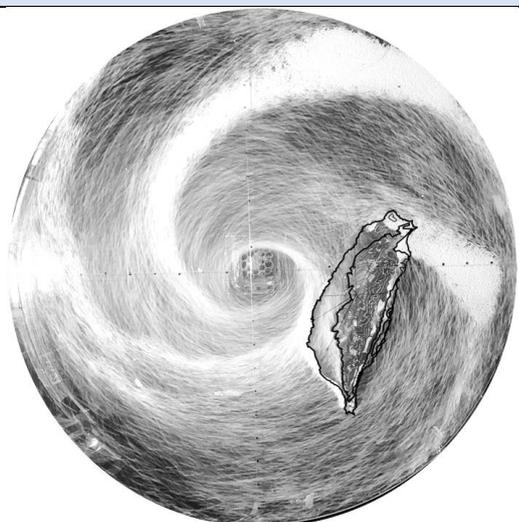
說明：保麗龍沙軌跡呈狹長型，且南部山脈較平緩，爬山流（綠光）及逆時針繞台（紅光）情形常同時發生。



(9-1)西北側尾流

風力大小：
開三洞
(65km/hr)
障礙物：
長 16.5cm/高 1.8cm

說明：保麗龍沙堆積與颱風同側(西北部)。



(9-2)中南部尾流

風力大小：
開三洞
(65km/hr)
障礙物：
長 16.5cm/高 1.8cm

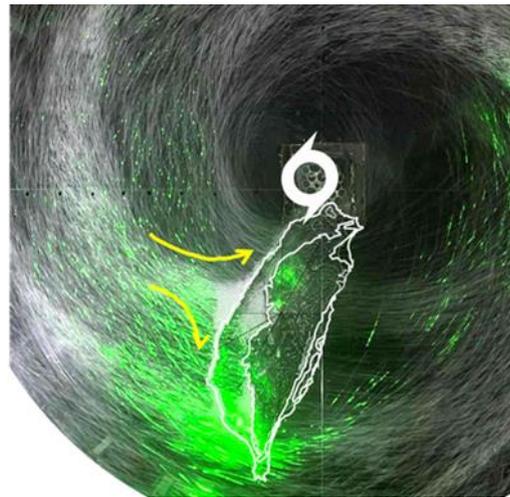
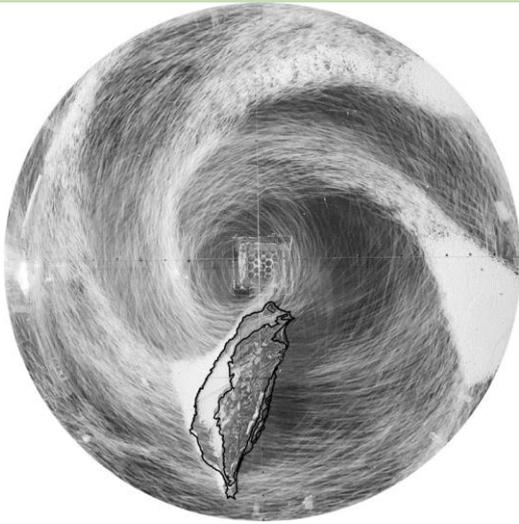
說明：保麗龍沙堆積與颱風同側(中南部)。

低層風場，保麗龍沙旋臂堆積處

高層風場，觀察保麗龍沙軌跡

方法

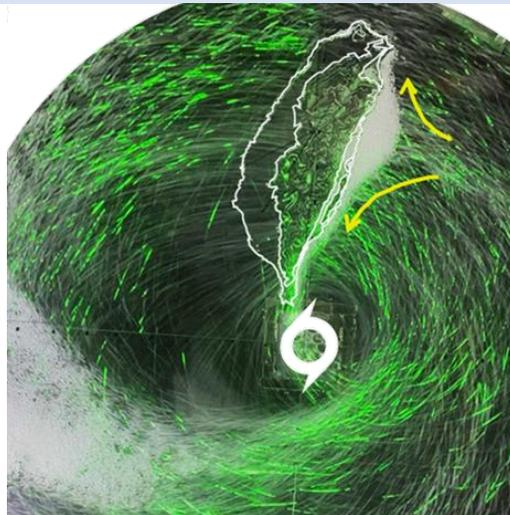
(10)西側滯流



風力大小：
開三洞
(65km/hr)
障礙物：
長 16.5cm/高
1.8cm

說明：西側氣流受地形阻擋，保麗龍沙堆積在迎風面。

(11)東側滯流



風力大小：
開三洞
(65km/hr)
障礙物：
長 16.5cm/高
1.8cm

說明：東側氣流受地形阻擋，保麗龍沙堆積在迎風面。

我們發現：

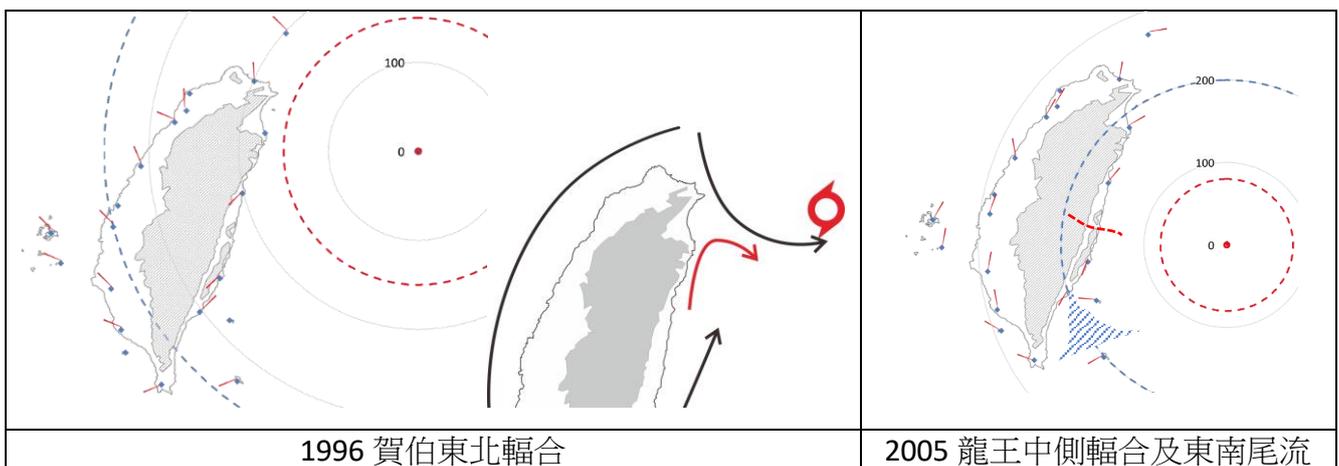
利用探照燈由下往上打光觀察，可從保麗龍沙的底層旋臂堆積，了解尾流及滯流區的分布情形，而利用雷射光搭配光柵進行高層風場的垂直掃描時，可觀察保麗龍沙在運動時的軌跡，最後，我們也將台灣形障礙物擺放於分析出的相對區域，發現會有相似的流型結果。

陸、討論

颱風是台灣常見的天然災害之一，為了能更精準預測颱風所造成的災害位置，以及在背風處形成的尾流區範圍，我們利用中央氣象署的風速風向資料以及颱風警報單，選用資料較完整的二十個測站進行分析，在王時鼎等（2003）的文獻中，將颱風氣流與台灣地形引發的邊界層現象分成兩類：（1）北方氣流與山脈夾角較小的「分流型」及（2）氣流來自東方的「阻擋型」，並在文中描述了「尾流」、「滯流」、「旋生」等邊界層現象。

本研究的流型分析方法承襲前份報告（江妍慈等，2021），**主要選擇半徑 200 公里以上，強度近中等以上發展成熟的颱風，且分析位置也增加成六個經度（119 ~ 124° E）**，在分析了 24 個西行侵台颱風的流型後，將所有流型開始細分及歸類。在分析颱風資料的過程中，我們發現流型之間並非有十分明確的界定，特別是在尾流區內的風場風標常有混亂的情形，我們將兩風標氣流匯集定義為輻合，若兩地風標角度差約 180 度定義為旋生，角度不大但有點渦度定義為迴流。主要判斷背風旋生的位置主要為綠島、蘭嶼和成功測站的風標，迴流流型則主要觀測東部測站是否有附壁效應（氣流沿著山脈流動），以及離島測站風向是否與東南部測站風向一致。

魏志憲（2018）指出：當颱風遇到台灣地形時的輻合位置：（1）颱風愈接近台灣東南部山區，地形效應也會愈明顯，（2）隨著颱風逐漸接近台灣本島，由角隅流與管道雙重效應所引發的輻合作用愈來愈顯著，本研究也發現當颱風受地形影響，所產生的輻合位置可分為三種：分別為基隆~宜蘭測站一帶的東北輻合（白努力效應影響），花蓮~成功測站之間的中部輻合，以及東南方的尾流區。

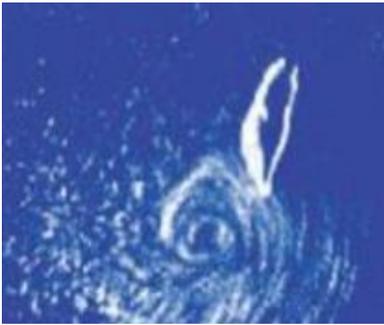
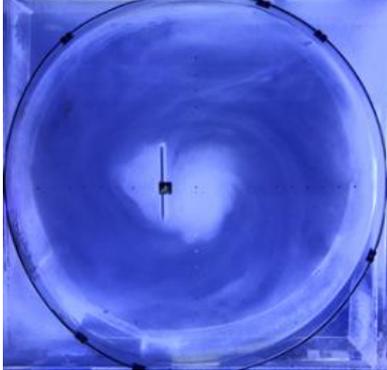
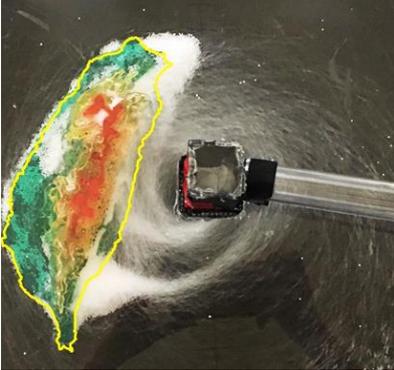
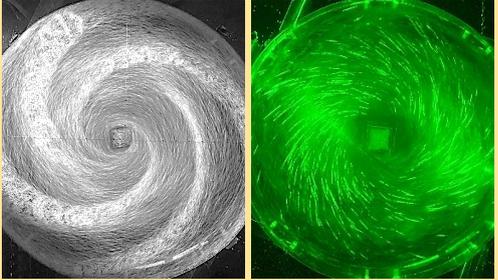
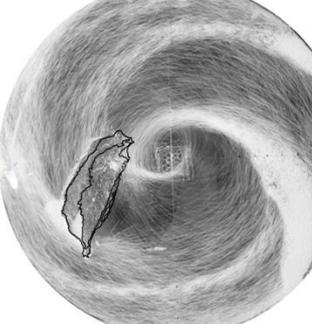


接著，我們將分析好的流型共歸類出五種總型，分別是：沿山流型、東側尾流總型、登陸流型、過山後流型、以及阻擋流型；又細分為 13 個次分類流型，我們將特定流型的颱風點出中心經緯度，利用繪圖工具圈出可能會發生的範圍，與台灣地形疊合，發現颱風行經某些特定位置時，可能會出現有兩種流型的組合流，像是東北輻合常常伴隨東南方尾流。而當颱風靠近或登陸台灣時，逆時針環流常和爬山流一起出現，且在王時鼎等（2003）的研究中提到，邊界層現象如尾流、噴流、上游分流等均可見之，所不同者，隨颱風中心位置不同，發生位置因而有不同而已。在我們的研究結果中也發現，颱風所在的緯度高低也連帶影響過山前的東側輻合及過山後西側的尾流位置。

然而，在分析時我們也發現，颱風愈接近台灣(東部山區)，地形效應會愈明顯，且在相關文獻中我們得知，氣流是否爬山取決於夫如數及山脈高度，夫如數 ($Fr = U / NH$)， U 為風速； N 為氣流的 Brunt-Vaisala 頻率，代表浮力大小或大氣穩定度大小； H 為氣流所遇山脈之高度。高夫如數時，氣流選擇以越過山脈(爬山流)為主，而在低夫如數時，氣流動能不足或暴風半徑過小，則會選擇繞山流 (Smolarkiewicz and Rotunno, 1989)，甚至由於台灣山脈南北兩側較低，大多在 2 千公尺以下，故有時氣流不但可以沿山而行或爬山。且在王時鼎等 (1975) 文獻也指出，在 4000~5000 英尺下，氣流均以繞山為主，當氣流進入角 $\alpha > 15^\circ$ 時，會出現因迴流產生的分層與渦旋。本研究分析爬山流時發現，最常見情況為南部爬山 (台灣山脈分布為北高南低)，因此獨立成一種流型(颱風中心多在東或東北側)。

接著，我們希望將颱風流型分析資料在實驗室中進行氣流場實驗模擬，從過去的報告中，我們看到有水工實驗模擬 (王時鼎, 2003)、溼式氣流場模擬 (郭宜玟等, 2015)，而我們在上份報告中，則是首度嘗試乾式氣流場搭配保麗龍沙模擬颱風邊界層的做法 (江妍慈等, 2021)，而本研究則在此基礎上進行了改良：

- (一) 在裝置設計上，氣流場本體都以透明壓克力製作，底板為透明玻璃 (或紙板、黑板)，取代原本的蛋糕圍邊、底為紙張的設計，整體密合度提高，模擬效果佳。
- (二) 以透明壓克力材質的台灣地型模型取代環氧樹脂材質，更透明也便於觀察。
- (三) 拍攝角度由下往上拍攝，避免吸塵器、塑膠管阻礙觀察。
- (四) 降低氣流場與障礙物厚度，在比例上調整。
- (五) 觀察底板的保麗龍沙堆積情形，可分析旋臂的數量及渦度。
- (六) 以雷射光搭配光柵進行風場掃描，觀察不同深度的保麗龍沙運動軌跡。

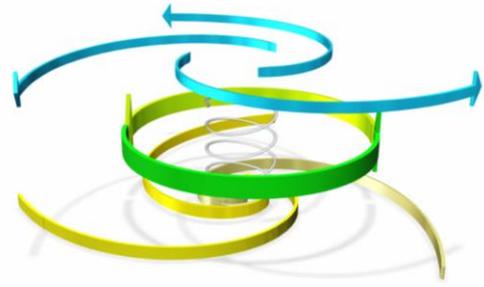
水工模擬 (王時鼎, 2003)	濕式流型模擬 (郭宜玟等, 2015)	前研究 (江妍慈等, 2021)
 <p data-bbox="188 566 517 678">水工實驗的模擬，水流不等於氣流，低層輻合高層輻散的現象</p>	 <p data-bbox="564 611 951 678">成功以水霧氣流場模型模擬，但氣流的邊界層現象不顯著</p>	 <p data-bbox="1011 611 1396 678">以保麗龍沙模擬邊界層但器材密合度差，旋臂不顯著</p>
本延續性研究		
 <p data-bbox="268 1041 568 1081">低層 高層</p>		
<p data-bbox="236 1122 587 1200">模擬颱風風場垂直結構、旋臂數量等</p>	<p data-bbox="703 1099 1007 1216">搭配地形障礙物模擬邊界層，以保麗龍沙模擬颱風旋臂</p>	<p data-bbox="1038 1122 1430 1200">以雷射光搭配光柵掃描風場以慢動作攝影觀察顆粒軌跡</p>

在台灣形障礙物的選擇上，我們嘗試過高 1.2cm、高 1.8cm 及高 3cm 的台灣模型，1.2cm 的台灣形障礙物太矮，但不易模擬出尾流區內保麗龍沙的堆積以及運動時的軌跡，而 3cm 的台灣模型太高，大部分地形已接觸到颱風高空輻散範圍，這種狀況並不符合實際情形，因此本研究主要利用高 1.8cm 的台灣形障礙物來進行模擬，觀察近地表之保麗龍沙堆積（風速較弱的尾流區），以雷射光搭配光柵，觀察 0.5cm 深的保麗龍沙顆粒軌跡（摩擦力較小之地轉風）。

模擬時我們發現，氣流場內所添加的保麗龍沙克數，如果克數少，雷射光易掃描，容易看出保麗龍沙運動時的軌跡，但尾流區堆積難以看出，如果克數多，旋臂清楚，保麗龍沙會大量堆積，阻擋雷射光不易掃描，並產生陰影，藉由不斷測試，後最終將模擬質量分為兩種模擬，1.5g 及 3g。1.5g 主要觀察地形效應及保麗龍沙軌跡，3g 則是觀察颱風旋臂，在測試時

我們也發現，裝置密合度很重要，漏風容易造成旋臂部對稱，風場也不對稱。

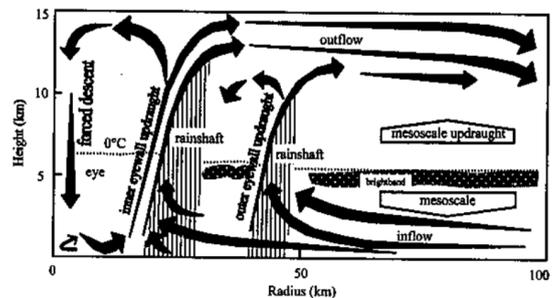
除了平面風場的模擬，我們也利用雷射筆搭配光柵分層掃描，觀察颱風的垂直結構，我們本來只由下往上觀察底層保麗龍沙受地形作用的影響，但考慮到颱風不完全是逆時針旋入，而是上層輻散、下層輻合，在實驗中我們也發現底層的保麗龍沙會向中心旋入，高層氣流的保麗龍沙會向外散出，此狀況與實際颱風結構相似，而我們的掃描方式本來是用一隻雷射筆貼齊玻璃，對齊光柵上畫的刻度，但後來發現雷射光源平放在玻璃上難以調整，因此我們利用腳架從遠處固定雷射筆進行掃描，利用探照燈由下往上打光。



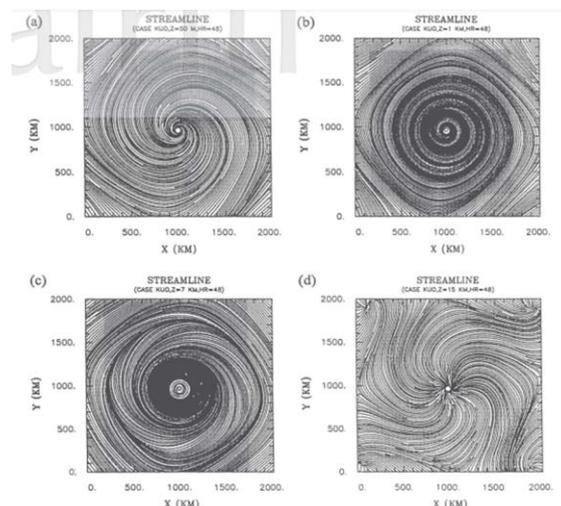
本研究氣流場模型風場示意圖
(黃低層輻合；綠中層環流；藍高層輻散)

我們在高地科知識中學到，「近地面風」是由氣壓梯度力、科氏力和地表摩擦力三力達成平衡，使風向和等壓線會斜交，並偏向低壓。「地轉風」少了地表摩擦力，由科氏力和氣壓梯度力平衡下產生的風，地轉風的方向常會和等壓線平行。我們使用吸塵器模擬氣壓梯度力，引流板使氣流逆時針旋入中心，0.5cm 高處少了摩擦力，氣流以同心圓繞中心，而我們也發現，高層氣流（1cm 以上高度）氣流除缺少玻璃摩擦力外，氣流從引流板加速流入，因向心加速度不足，氣流向外甩出。

在模擬東南尾流總型時，我們發現，當颱風位於台灣東北側時，基隆~宜蘭一帶會產生輻合（颱風環流與白努力效應造成的南風合流），當颱風中心位於東側中部時，會在花蓮~成功一帶產



颱風中心結構示意圖。橫軸為自中心向外之徑向距離,垂直軸為高度;箭頭為風向。
(圖自 Willoughby, 1995)



颱風分層結構 (圖自黃清勇等 1998)

生輻合（颱風環流與南方繞山而附壁效應氣流），當颱風中心位於東南部時，綠島、蘭嶼會產生輻合尾流區。若從南方繞山而來的氣流與山脈夾角小且動能不足，則會在東南方產生迴流，保麗龍沙會繞過台灣南部山脈。

模擬登陸流型時，我們發現當颱風距離台灣很近，南部山區高層有爬山流，低層有逆時針環流，因此我們將兩種流型一起模擬，為了做出區別，底層 0.5cm 高處利用紅光雷射筆，1cm 高處則利用綠光雷射筆掃描，由於颱風中心位於台灣正上方，保麗龍沙軌跡呈狹長形。

再來是過山後流型，常常會產生與颱風中心同側的尾流區，而生成位置則是和颱風緯度高低有關，緯度高，尾流區通常位於西北側，緯度低時則是在中南部，而颱風中心如果距離颱風較遠，則是全台吹北風，我們所分析的過山後流型，大致都是由這三種流型組成。

最後是阻擋流型，這兩種流型常發生在 1、5 號路徑的颱風，由於氣流遇到台灣岔開在迎風面形成滯留區，在模擬的圖中我們也可以看到有些微保麗龍沙堆積在迎風處。

柒、結論

- 一、為分析西行侵台颱風的連續流型變化並歸納其規律性，本研究向氣象局申購風速風向資料及颱風警報單進行分析，畫出風場圖，將流型分類，統整各種流行發生時的颱風位置，推論颱風西行過程中的流型的演變趨勢，且開發氣流場裝置模擬地形作用下的流型變化。
- 二、本研究一共分析 24 個西行侵台颱風，並將其於東經 119 ~ 124° 的流型進行分類，一共分成五大總型及十三個子分類如下：
 - （一） 沿山流型:氣流進入角與台灣山脈夾角小，氣流多沿山而行
 1. 全台北風: 全台吹北風。
 2. 全台南風: 全台吹南風。
 - （二） 東側尾流總型:颱風在台灣東方，因中心所在位置不同，氣流沿山及繞山出現交互作用，因此出現尾流、旋生或輻合的現象
 3. 東南輻合尾流：氣流繞過南部山脈後，與颱風內圈氣流會合，在東南方產生尾流區。

4. 4-1 東北輻合：由於颱風旋臂造成的白努力效應，在宜蘭-基隆附近形成輻合帶。

4-2 東部輻合：花蓮吹北風台東吹南風，兩股不同風向的風在東側中部輻合。

5. 東南迴流：氣流動能不足，氣流繞山繞過南部山脈後北上。

6. 東南旋生：氣流遇到山脈時大角度進入，在東南側形成一背風旋生。

(三) 登陸流型：颱風中心在陸地或離陸地很近時，氣流繞台或動能足以爬山

7. 南部爬山流型：當颱風登陸台灣時，氣流動能足夠，爬過南部山脈。

8. 環流繞台流型：當颱風登陸台灣時，氣流逆時針繞台。

(四) 過山後流型：颱風過山後氣流混亂，在海峽上組織好中心後，颱風西側或西北側出現尾流或旋生

9-1. 西北側尾流：颱風過山後，西北側尾流區與颱風同側。

9-2. 西側中部尾流(旋生)：颱風過山後，西側中部尾流區與颱風同側。

(五) 阻擋流型：颱風氣流與山脈迎風面出現阻擋流型或滯流區

10. 西側滯流：西側氣流受地形阻擋迎風面產生尾流區

11. 東側滯流：東側氣流受地形阻擋迎風面產生尾流區

三、我們發現：位置、路徑、強度相似的颱風因受台灣地形影響，會有相似的流型演變，因此我們提出各種流型發生時的颱風中心位置分布圖，並提出了下列結論：

(一) 一號路徑：東側尾流總型→阻擋流(西)→沿山流(南)

(二) 二號路徑：東側尾流總型→登陸流型→過山後流型或沿山流(南)

(三) 三號路徑：東側尾流總型→登陸流型→過山後流型

(四) 四號路徑：沿山流(北)→登陸流型→過山後流型

(五) 五號路徑：沿山流(北)→阻擋流(東)

四、氣流場實驗模擬：我們改良了原本的氣流場模型，改由下方拍攝，可以觀察近地面的風場流型與邊界層現象，並利用雷射光搭配光柵進行風場掃描，藉此瞭解颱風垂直結構。

(一) 摩擦力對颱風旋臂的影響

為了探討不同地表摩擦力對旋臂的影響，我們利用了不同的材質來進行模擬，並測試出摩擦係數的大小，我們發現：摩擦力越小，旋臂數量越多且明顯。

(二) 颱風風場的垂直結構

以雷射筆搭配光柵進行分層掃描可觀察颱風的垂直結構是底層旋入(輻合)、高層旋出(輻散)的情形

(三) 氣流場流型模擬

1. 模擬沿山流流型時：

當颱風中心在東南方或西北方時，氣流進入角與山脈夾角較小，多沿山而行，保麗龍沙無明顯堆積。

2. 模擬東側尾流總型時：

(1) 當颱風中心位於東側北部，由於颱風旋臂及白努力效應的影響，保麗龍沙會在基隆~宜蘭一帶堆積。

(2) 當颱風中心位於東側中部，會在花蓮、成功一帶產生輻合，保麗龍沙堆積形成狹長輻合帶。

(3) 當颱風中心位於東側南部，颱風環流會岔開形成兩股氣流，西部沿山流繞過南部山脈後，與颱風內圈環流會合，因此綠島、蘭嶼會產生狹長的尾流區。

(4) 當氣流動能不足，會在東南方產生迴流，以雷射筆掃描可發現，保麗龍沙會因附壁效應沿著東部山脈北上與颱風環流會合。

3. 模擬登陸流型時：

保麗龍沙呈逆時針繞台，而當氣流動能足夠，爬山流常伴隨颱風逆時針環流。

4. 模擬過山後流型時：

颱風結構和風場被台灣地形破壞後，會產生與颱風中心同側的尾流區，生成位置與台灣模型擺放有關。

5. 模擬迎風面阻擋流型時：

颱風環流受台灣地形阻擋，氣流會在迎風面岔開形成滯留區，保麗龍沙則堆積在山脈迎風面處。

五、本實驗透過繪製颱風中心位置分布圖，推測相同路徑的颱風，經過特定區域時，會有相似的流型變化趨勢，藉此預測颱風來臨受地形效應時的風場，期望降低颱風帶來的災害影響。

捌、參考文獻

1. 中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw>
2. 侵台颱風資料庫 <http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/tyfnweb/tek-report.htm>
3. Windy 數值風場模擬 <https://www.windy.com/>
4. 國立自然科學博物館 <https://www.nmns.edu.tw/ch/information/news/News-001234/>
5. 王時鼎、林則銘、俞家忠。1975。颱風侵襲時臺灣海島對風場分析與預報之影響。大氣科學。2(1)：23-35。
6. 黃清勇、許依萍。1998。台灣地形對理想型颱風環流變化之影響。大氣科學。26(3、4)：281-324。
7. 魏志憲。2018。受地形影響下侵台颱風之中尺度特徵分析。飛航天氣。29：1-21。
8. 曾吉暉、陳台。1999。賀伯颱風登陸期間結構之雙都卜勒雷達分析。大氣科學。27(4)：295-318。
9. 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。
10. 江妍慈、黃玉涵、金長樂。2021。旋風登台，引領流「型」—探討台灣島嶼地勢對颱風流型變化之影響與模擬。61 屆全國科展國中組地球學科。
11. 王時鼎（2003）。台灣的颱風。財團法人中興工程科技研究發展基金會。150 頁。
12. 王時鼎、謝信良、鄭明典、鄧仁星（2003）侵台颱風因台灣地形引起兩類邊界層現象分析 及其預報問題討論。天氣分析與預報研討會論文彙編。中央氣象局。p.401-412。
13. 朱錦洲、王時鼎、郭光輝（1993）。侵台颱風之水汽模擬。天氣分析與預報研討會論文彙編。P.33-42。
14. Smolarkiewicz, P.K., and R. Rotunno, 1989. Low Froude number flow past three-dimensional obstacles. Part 1: Baroclinically generated lee vortices. J. Atmos. Sci., 46, 1154-1164.
15. Willoughby, H. E. 1995. Mature structure and evolution. Chapter 2, Global Perspectives on Tropical Cyclones. R. L. Elsberry (ed.), WMO/TC) No. 693, Report No. TCP-38, World Meteorological Organization, Geneva, 21-62.

【評語】 180015

本研究設計一個簡易設備產生颱風氣流，以保麗龍沙作為材質，利用不同高度的阻礙作為台灣地形的模擬，並利用簡單風動實驗設施，進行氣流場的模擬裝置，此實驗設計概念相當好，能模擬出不同風速與摩擦係數的旋臂差異，探討颱風環流與地形間的交互作用關係，可以讓實驗者透過控制變因，觀察到結果的改變，是一個相當完整的科學實驗的成果。

本研究實驗氣流場模擬結果，比較著重於定性上的描述，較缺乏定量上的分析。針對關鍵與有興趣的問題，應該可以利用本研究實驗裝置，進行進階的實驗設計，與實驗變因的控制，進行定量性質的實驗，考慮更詳細的流體時序的演進與變化，與影響颱風氣流的各種條件，讓本研究更具有研究價值。