中華民國第61屆中小學科學展覽會作品說明書

國中組 地球科學科

第一名

030502

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

學校名稱:高雄市立仁武高級中學

作者:

國一 江妍慈

國一 黄玉涵

國一 金長樂

指導老師:

蘇毓智

林姝君

關鍵詞:流型、尾流區、背風渦旋

得獎感言

追風、馭風!一段難忘的科學之旅!

2021 是特別的一年!全球經歷一場 COVID-19 疫情風暴,嚴重打亂生活步調,幸而舉辦熱血沸騰奧運賽事,緩解人們疲憊的身心;對我們來說,今年也別具意義。科展在台一甲子,卻因疫情不得不以線上模式進行比賽,雖少了直面評審的壓迫感,但緊張情緒依舊,直到線上頒獎宣布得獎那一刻,內心激動與感動交織,再度喚起過去整年的實驗點滴,這一切終將成為我們最難忘的生命片段。

回想剛升上國一,我們對「科學」一知半解,也沒想到有機會一路扶持走到今天。起初在陌生的實驗室四處摸索,不時思考過往學長姐拋下的待答問題:「颱風風場內的渦度,是如何受地形影響呢?」一開始我們製作水流場,在漩渦中加入各種介質,觀察球體軌跡與計算渦度。經無數次嘗試,分析資料和模擬結果卻不如預期,長時間一次又一次挫敗,整個實驗遲遲沒有進展,不禁懷疑「自己到底適不適合做科展」?然而,老師卻顯得一派輕鬆,認為失敗沒什麼大不了,因失敗才是科學的本質啊!一直持續到市賽交件前兩週,才有一點發現,就是我們的結論之一:「位置接近且條件類似的颱風,普遍有類似的流型。」原本模擬不出的流型慢慢有了雛形,當研究出現曙光,我們也逐漸尋回信心和確立目標。

現在回想整個研究過程,其實還挺有意思的。在實驗室中,總是充斥震耳欲擊的吸塵器運作聲和老師激動的叫喊(罵)聲;滿天飛舞的保麗龍沙總是沾滿頭髮和全身,吃午餐時還擔心會不會混著飯粒吞下肚;手機照片影片不小心就塞滿空間必須時常清理;同學做實驗太激動導致實驗玻璃壓破;切割壓克力片不幸被美工刀劃傷手而濺血,當時全組還陪同緊急送醫。無可避免,偶爾會意見不合而爭吵,但也因為這樣,我們學會如何理性對話、溝通協調,更懂得團隊合作的重要性。最後,印象最深刻的還是因受到疫情影響而促成這次史無前例的線上比賽,賽前所有既定行程全被打亂,只能透過多達三十幾場的線上會議進行討論和遠端指導,在家將研究資料完成分析與歸納,將實驗模擬裝置搬到家裡測量風速,期間還怕鄰居跑來投訴噪音問題,這或許也算另一種獨特的比賽經驗吧!

謝謝我們的父母一開始支持我們做科展並給予鼓勵,謝謝兩位指導老師的陪伴,感謝毓智老師耐心傳授颱風知識,教導科學實驗的精神、態度和方法,謝謝姝君老師幫助提升報告流暢度並給予建議,謝謝過去學長姐聆聽報告並提供回饋,以及專家學者給予諸多提醒與協助。最後要感謝一起做實驗的夥伴們,有了你們,讓實驗增添不少樂趣,使這段科展之旅充滿美好回憶!



實驗過程中,為了模擬颱風流型,我們經常與吸塵器轟鳴聲、飛舞的保麗龍沙為伍。



疫情爆發前的市賽,這時還有實體競賽,與我們的展板合照。



疫情爆發後,線上練習與線上比賽是很特別的經驗, 我們開會練習不下三十次,一樣為這次競賽盡最大的努力。

摘要

為了分析颱風是否受到台灣地形影響而改變風場,本研究分析近 20 年間 29 個西行颱風,以全台 20 個測站風向資料,繪製流型圖,將颱風在不同位置時的環流特徵進行分類,也製作氣流裝置搭配保麗龍沙模擬各種流型。我們一共分出 12 種颱風流型,選擇路徑 1~5 號西行颱風進行流型分析,颱風離台灣較遠時(123.5°E),有尾流區或背風渦旋產生;離台灣較近時(122°E),不同位置有顯著的流型差異;過山後(120°E),在其餘位置也都有地形效應;1 號路徑颱風,氣流主要由南沿山往北吹;5 號路徑,氣流主要由北沿山往南吹。實驗模擬,用乾式氣流場搭配保麗龍沙在直進型、螺旋型氣流場中觀察滯流區及尾流區等結構,使用熱線式風速計,並繪製等風速圖獲得與實際流型資料相似結果。

壹、 研究動機

「颱風」是台灣常見的天然災害之一,每逢夏天,我們都會見識到其強大的破壞力,這時,我們又希望獲得來自護國神山-「中央山脈」的庇護,在高聳山脈的阻擋下,居然能使颱風強度減弱,甚至路徑改變,這也引發我們的興趣,想要更進一步探究其原因到底為何?

在(圖一、A)的真實色衛星雲圖中,我們觀察到颱風的氣流似乎有被台灣「彈開」的樣子,不禁使我們想問:「颱風的逆時針環流,受台灣地形影響時,氣流怎麼走?流型變化是否有其規律性呢?」在閱讀了一些資料及參閱歷屆的科展報告,發現已有颱風相關研究(表一),例如:利用水霧氣流場模擬颱風(郭宜玟等,2015),及觀察颱風受到駛流場與地形影響時,風場發生不對稱性(莊詠軫等,2018)等研究,上述兩件作品都提供我們研究上一些想法。為探究颱風流型,我們向氣象局申購全台測站的風向資料進行分析,並設計實驗,以風吹砂景觀作為發想,將氣流場搭配「保麗龍沙」作為介質進行模擬,藉由直接觀察保麗龍沙的運動與堆積(圖一、B、C),分析氣流是否有「爬山」、「繞山」、「尾流區」、「滯流區」等現象,再與實際流型比對,並呈現出類似 Windy 動態數值模擬風場的結果(圖一、D)。



圖一A、台灣與颱風的真實色雲圖(圖自中央氣象局網站),B、C本實驗以保麗龍沙作為介質進行流型模擬, Windy 動態數值模擬(圖自 Windy 網站) 1

我們知道,颱風是一個扁平的結構,高約10多公里,寬約數百公里,而台灣是一個南北 狹長、多高山的島嶼,有許多約3~4公里高的高山,這對於颱風來說,算是非常難以跨越的 障礙物,我們推測台灣地形可能對颱風的風場形狀造成改變,因此我們做出以下假設:

假設一、颱風在過山前、中、後,受台灣的山脈影響,其環流結構會改變。

假設二、風遭遇障礙物時,會因風速大小、障礙物高度、寬度、坡度、角度發生爬山或繞山 等現象,並出現尾流區、滯流區等。



繞山流(黃):氣流動能不 足時,遇到障礙物只能繞山 爬山流(橘):氣流動能足

夠或坡度平緩、山勢不高,

可以爬山

沿山流(藍):氣流可順著

山脈走向流動



尾流區:

位在物體後 方的流場區 域,經常風 向混亂、風 速弱,或有

渦漩發生

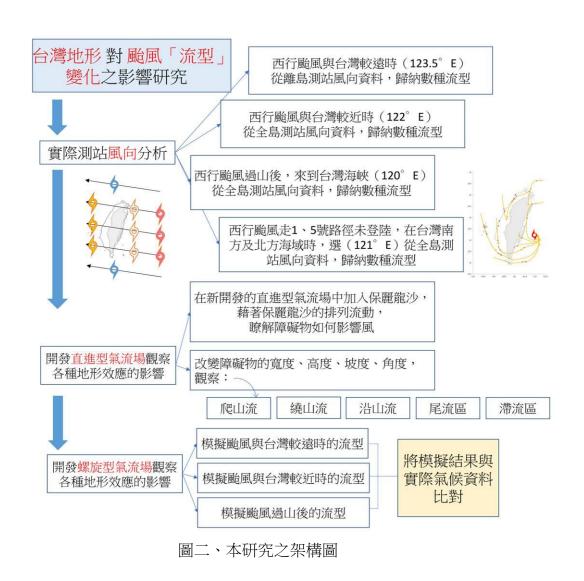
假設三、以流型模擬裝置模擬爬山、繞山現象發生時,保麗龍沙的堆積排列也會改變。

表一、歷屆科展颱風相關研究

屆	題目	模擬方法	結論
55	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	霧化水分子 模擬颱風的 氣流場	 以水霧氣流場模型,模擬颱風的狹管效應、藤原效應、雙眼牆等現象。 模擬颱風過山前後颱風風場狀況。
58	風度「偏偏」-分析颱 風風場的不對稱性及實 驗模擬	以蛋糕盒及 吸塵器模擬 颱風的氣流 場	 分析歷年颱風,發現颱風風場在登陸前後均存在不對稱性。 颱風風場存在不對稱性,與颱風路徑有關。 受地形破壞,颱風也會發生不對稱性。 以氣流場裝置模擬此現象。
61 本研究	本研究與過去不同的研究重點: 1. 研究颱風風場遇到台灣地形的「流型」改變情形。 2. 設計實驗觀察「風的軌跡」與「風場流型」。		

貳、 研究目的

- 一、 分析西行颱風離台灣陸地較遠(123.5°E)時的離島測站風向, 並歸納出幾種流型分類。
- 二、 分析西行颱風離台灣陸地較近(122°E)時的全島測站風向, 並歸納出幾種流型分類。
- 三、 分析西行颱風過山後(120°E)的全島測站風向,並歸納出幾種流型分類。
- 四、 分析 1、5 號路徑颱風在接近台灣(121°E)時的全島測站風向,並歸納流型。
- 五、 以直進型氣流場搭配障礙物進行流型模擬。
- 六、 以螺旋型氣流場搭配台灣地形障礙物進行流型模擬。



參、 研究設備及器材

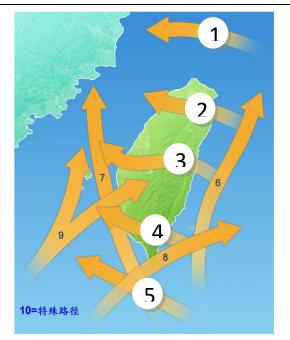
- 一、 使用軟體:Microsoft Excel、Microsoft PowerPoint、Sufer、imageJ
- 二、 分析颱風資料

(一) 測站列表(我們選擇本島及離島 20 個有風向資料的測站)

台東	台南	台西	四湖	成功
竹南	東吉	花蓮	恆春	琉球
高雄	基隆	梧棲	彭佳嶼	新竹
新屋	綠島	澎湖	蘇澳	蘭嶼

(二) 分析颱風列表(我們大部分選擇近20年西行、半徑較大的颱風進行分析)

一號路徑	馬莎(2005)	桑美(2006)	瑪莉亞(2018)
	利奇馬(2019)		
二號路徑	賀伯(1996)	碧利斯(2006)	卡玫基(2008)
	薔蜜(2008)	蘇力(2013)	杜鵑(2015)
	尼莎(2017)		
三號路徑	海棠(2005)	龍王(2005)	泰利(2005)
	凱米(2006)	鳳凰(2008)	莫拉克(2009)
	麥德姆(2014)	蘇迪勒(2015)	梅姫(2016)
四號路徑	莫拉克(2003)	帕布(2007)	凡那比(2010)
	尼伯特(2016)	白鹿(2019)	
五號 路徑	尤特(2001)	杜鵑(2003)	天兔(2013)
	閃電(2020)		



氣象局的 9 種颱風路徑分類(圖自氣象局) 本研究選擇路徑 1~5 西行颱風進行流型分析

三、 實驗材料

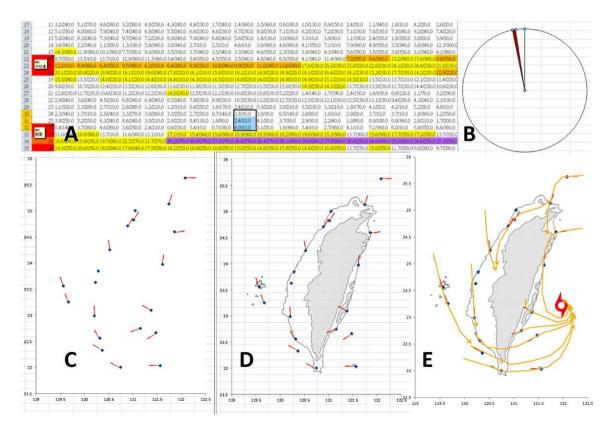
儀器器材	熱線式風速計、吸塵器、數位相機、電子天平、熱熔槍			
	保麗龍沙、強力磁鐵、透明蛋糕圍邊、投影片、水晶膠、矽膠、壓克力板、 鋁片、銅片、水槽濾網、壓克力管、鐵網、瓦稜版			



圖三、強力吸塵器、熱線式風速計、保麗龍沙(粒徑約1mm)

肆、 研究方法

- 一、分析不同路徑颱風造成的風場風向資料
 - (一)至中央氣象局找尋各測站經緯度,用 Excel 標示,並套上台灣地圖 (中央灰色區塊為海拔 500m 以上區域)
 - (二)從氣象局下載颱風警報單,收集颱風基本資料(強度、風速位置、半徑等)
 - (三) 選定特定時間,挑選測站風向資料
 - (四)於各測站位置上,用圓餅圖畫出風向、風標
 - (五) 連線並畫出此颱風的風場軌跡



- A.中央氣象局的逐時風速風向資料、B.利用 Excel 的圓餅圖製作風標、
 - C.將測站位置與風標疊合、D.與台灣地形疊合、E.畫出風場風向圖
- (六)分析風場受地形影響程度的方法
 - 1.以颱風中心為圓心,利用圓規在測站位置上畫出切線。
 - 2. 用量角器量出實際風向與切線方向的角度。
 - 3.實際風向與切線方向角度差異愈大,表示受地形影響愈大。

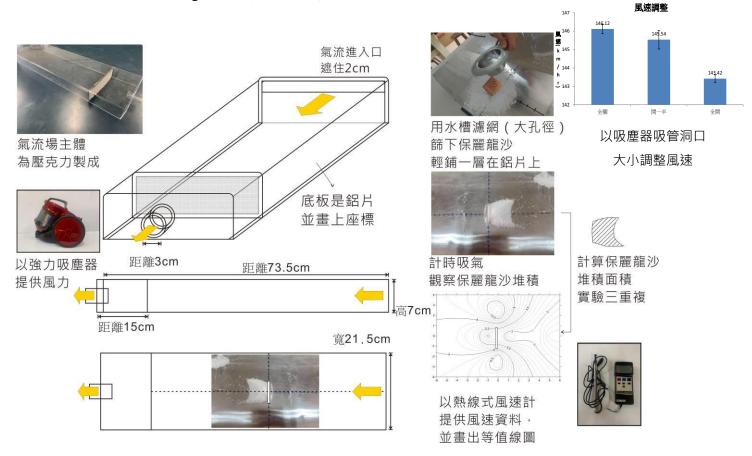
(七) 將各種颱風流型依照特徵分類

- 1.分析颱風離本島較遠時(123.5°E)的流型並分類。
- 2. 分析颱風離本島較近時(122°E)的流型並分類。
- 3. 分析颱風過山後在(120°E)的流型並分類。
- 4.分析 1、5 號路徑的颱風在(121°E)的流型並分類 (未登陸台灣,在南、北部海面通過)。



二、直進型氣流場 ~ 流型模擬實驗方法

- (一)使用壓克力製作直進型氣流場實驗模型(長 75.3cm、寬 21.5cm、高 7cm)
 - 1. 底板是鋁片,可防靜電;盒子前端挖出一個直徑 3cm 的小洞作為抽氣口。
 - 2. 距離盒首 15cm 處黏上鐵網防止保麗龍沙被吸塵器吸入。
 - 3. 在障礙物附近用水槽濾網篩下 0.7g 保麗龍沙。
- (二)加入障礙物,使用吸塵器固定吸3秒模擬氣流爬山與繞山現象。
- (三)利用熱線式風速計分析風速場,於每1-2cm 測量風速,以 sufer 繪製等風速圖
- (四)用 imageJ 計算保麗龍沙堆積面積(三重複取平均)

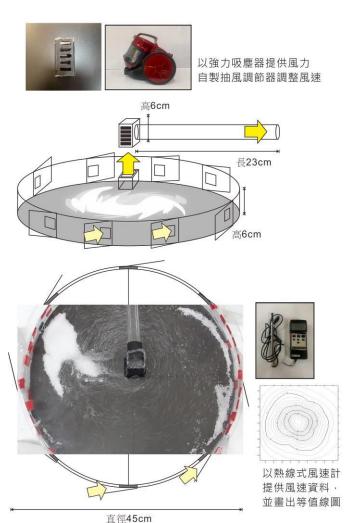


三、螺旋型氣流場~流型模擬實驗方法(修改自莊詠軫等,2018)

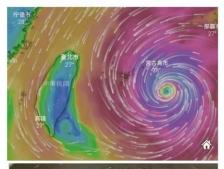
(一)使用蛋糕圍邊製作環形氣流場實驗模型

(直徑 45cm、高 6cm,底鋪黑紙,畫上直角坐標,以 2cm 為一單位)

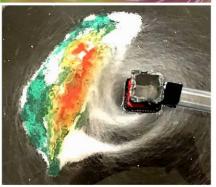
- 1. 以蛋糕圍邊圍成盒身, 高 2cm 處, 切下 3 x 4cm 的長方形, 有 8 個洞。
- 2. 使用瓦楞板製作成 8 個引流板,使得空氣在吸塵器抽風的作用下,能從切線流入,於倉內呈現逆時針旋轉。
- 3. 盒蓋以透明壓克力製成,中心處切割一邊長 4cm 的正方形以放置吸塵器,再利用自製抽風裝置改變風力大小。
- 4. 篩下 1.5g 保麗龍沙。
- 5. 使用吸塵器模擬颱風中心氣流之上升位置,並且使用自製抽風裝置改變風力強弱,固定吸7秒,模擬不同情形的流場或流型。
- (二)放置台灣地形障礙物,觀察爬山流、繞山流及尾流區等現象
- (三)利用熱線式風速計分析風速場,每 4cm 測量風速,以 sufer 繪製等風速圖







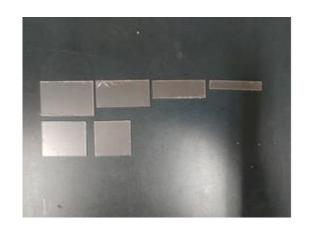
Windy數值模擬風場動 態圖·強調動態風場效 果(圖自Windy網站)



本裝置為透明的 可以直接觀察保麗龍沙加入障礙物、 調整光圈、曝光時間或錄影・觀察重點: (1)保麗龍沙運動軌跡 代表風的走向 (2)保麗龍沙堆積處 代表滯流區或尾流區

四、障礙物的製作方法

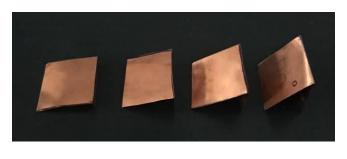
- (一)使用 0.1cm 厚度的壓克力板切割障礙物
 - 1. 將壓克力板放置切割墊上,並在其表面畫出所欲模擬的障礙物高度。
 - 2. 將美工刀沿著畫好的痕跡垂直劃下。
 - 3. 在已裁割好的壓克力板底部左右各黏一塊小型磁鐵,以熱熔膠黏貼,方便吸 附在鋁片上,且能準確固定障礙物每次實驗所放的位置。
- (二)使用銅片摺出不同坡度的障礙物
- (三)台灣地形障礙物
 - 1. 用 1.2cm 厚的壓克力切出台灣各等高線圖,台灣頭尾長 24cm。
 - 2. 用矽膠將各層壓克力板翻模。
 - 3. 以水晶膠倒模,作出不同厚度的台灣模型(高 1.5~4cm)。



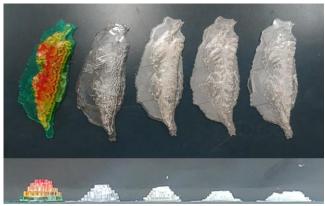
6X4 \ 6X3 \ 6X2 \ 6X1

5X4 \ 4X4

朱錦洲等(1993)在「侵台颱風之水工 模擬」曾提到,<mark>台灣地形與長度比約為1:</mark>
100,但在實際模擬上有其困難,為強調地 形效應之影響,須調整模型比例(文中比例 為1:6),本實驗測試了1:16(1.5cm 高)、 1:12(2cm 高)、1:9.6(2.5cm 高)、1:8 (3cm 高)、1:6(4cm 高)五種模型高度。



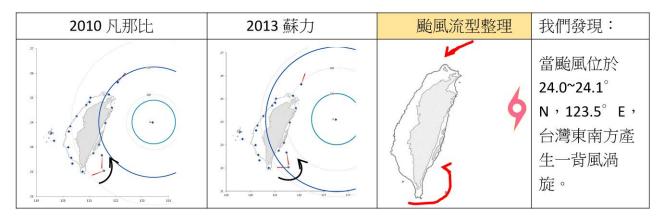
 10° \ 30° \ 50° \ 70°



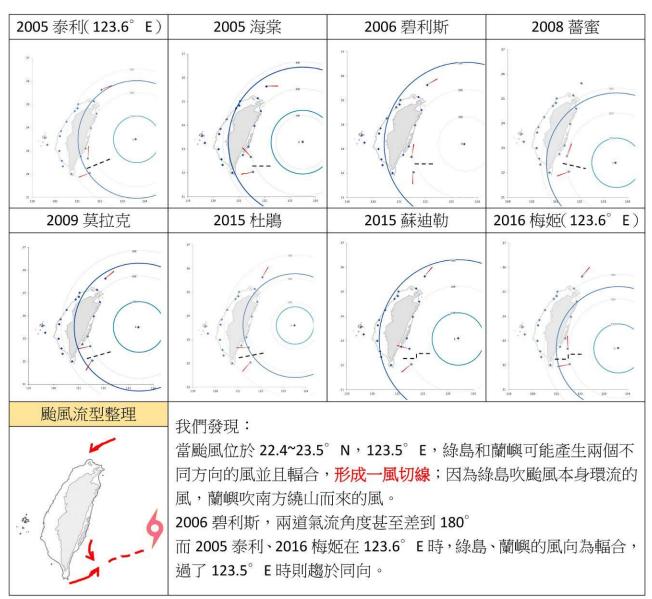
4cm 高、3cm 高、2.5cm 高、2cm 高、1.5cm 高, 長度都是 24cm

伍、研究結果

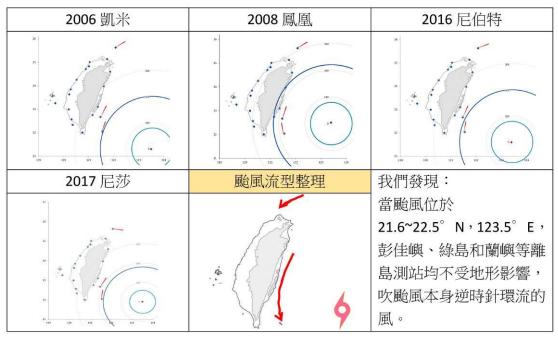
一、分析西行颱風離台灣陸地較遠(123.5°E)的離島測站風向,並歸納出幾種颱風流型分類。 (一)颱風位於北側的流型(24.0~24.1°N)



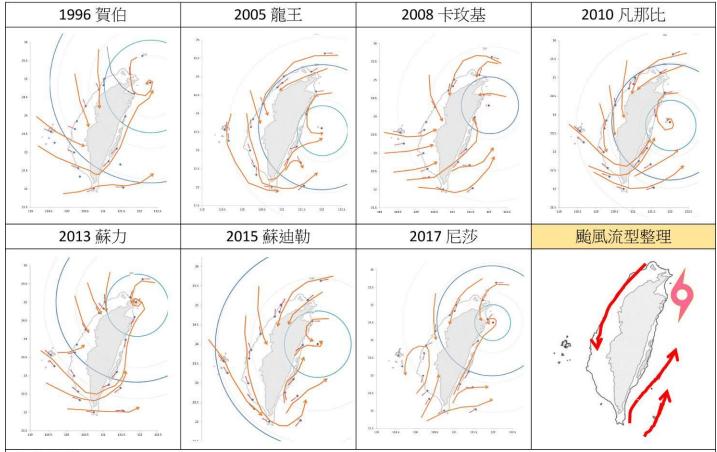
(二) 颱風位於中側的流型(22.4~23.5°N)



(三) 颱風位於南側的流型(21.6~22.5°N)



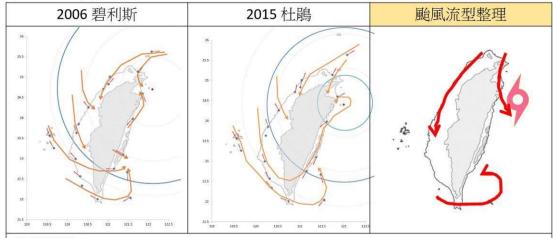
二、分析西行颱風離台灣陸地較近(122°E)的全島測站風向,歸納出幾種流型分類。 (一) 北側-I流型(23.6~24.9°N)



我們發現:

當颱風位於 23.6~24.9°N,122°E,受台灣南北走向的山脈影響,西側吹北風,東側吹南風,颱風的逆時針環流變得狹長。若暴風半徑過小(如 2008 卡玫基、2017 尼莎),西側氣流動能不足以南下

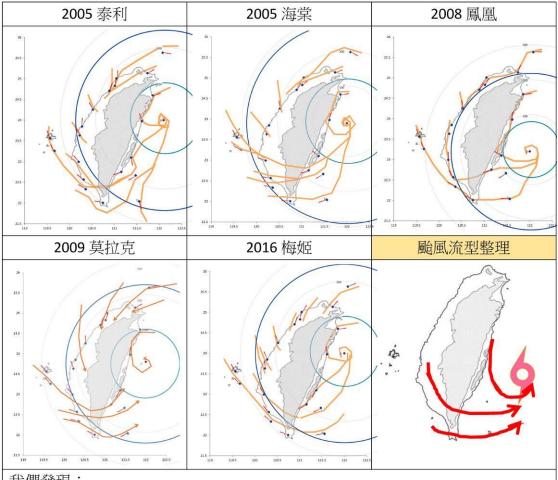
(\Box) 北側-Ⅱ流型(24.4~24.5°N)



我們發現:

當颱風位於 24.4~24.5° N,122° E,台灣西部吹北風,氣流繞過台灣南部,在東 南方產生一背風渦旋。此流型與北側-1流型差別在於台灣西側氣流與山脈夾角較 大。

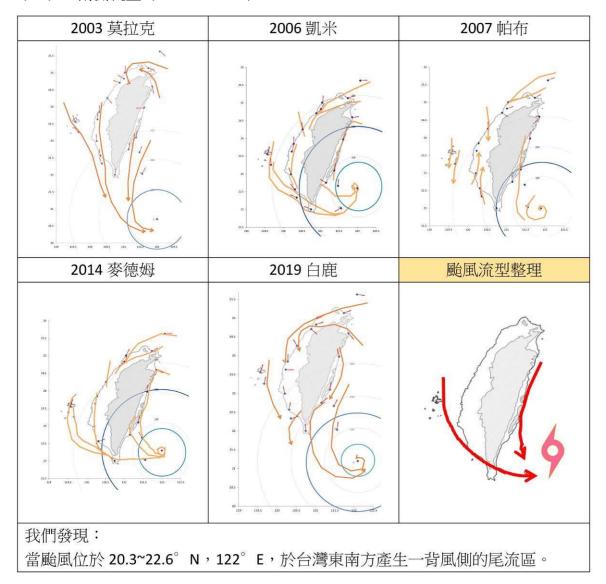
(Ξ) 中側流型(23.2~24.1°N)



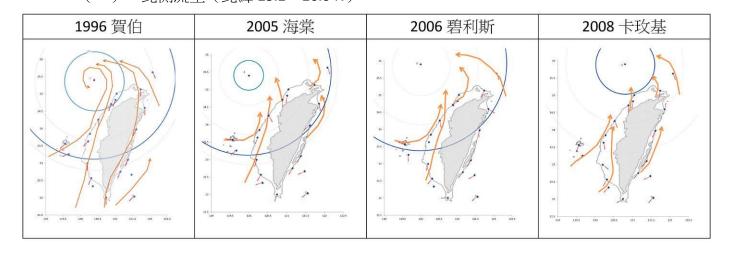
我們發現:

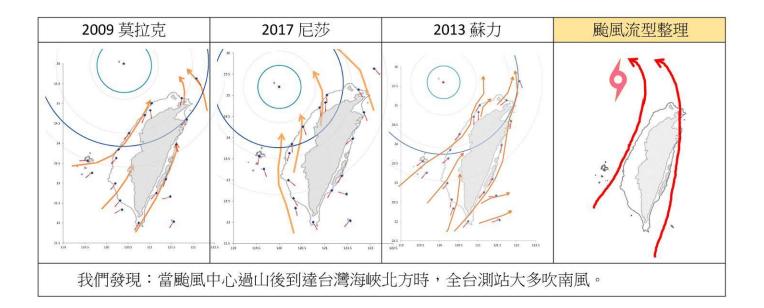
當颱風位於 23.2~24.1° N,122° E,因動能足夠,且台灣南部山脈較平緩,會 在台灣南方形成爬山流繞到東部,與颱風環流會合。

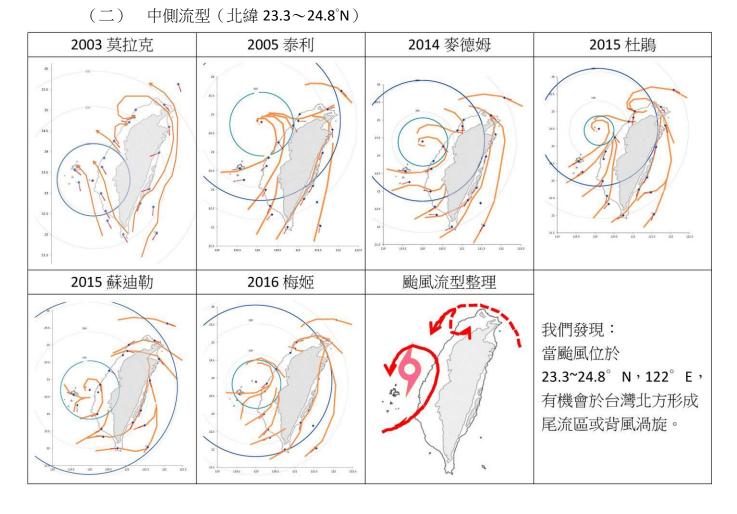
(四) 南側流型(20.3~22.6°N)



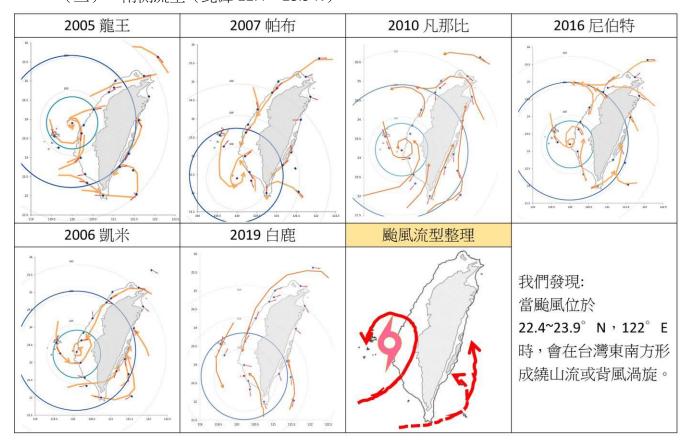
三、分析西行颱風過山後(120°E)的全島測站風向,並歸納出幾種流型分類 (一) 北側流型(北緯 25.2~26.0°N)





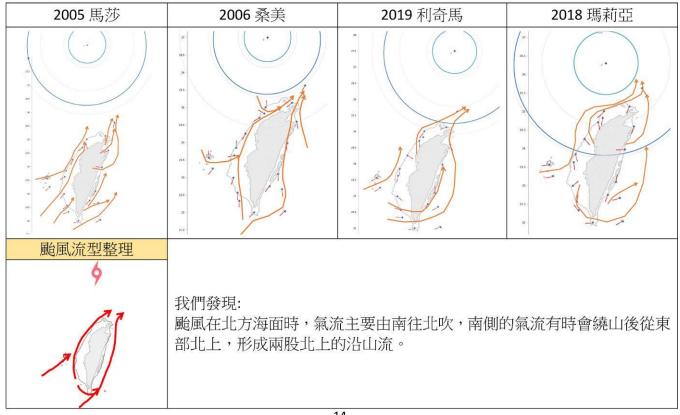


(Ξ) 南側流型(北緯 22.4~23.9°N)

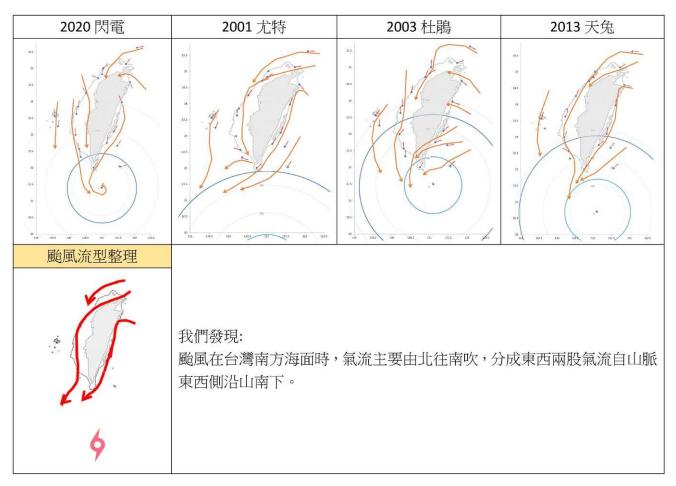


四、 分析 1、5 號路徑颱風在接近台灣 (121°E) 時的全島測站風向,並歸納流型。

(一) 一號路徑

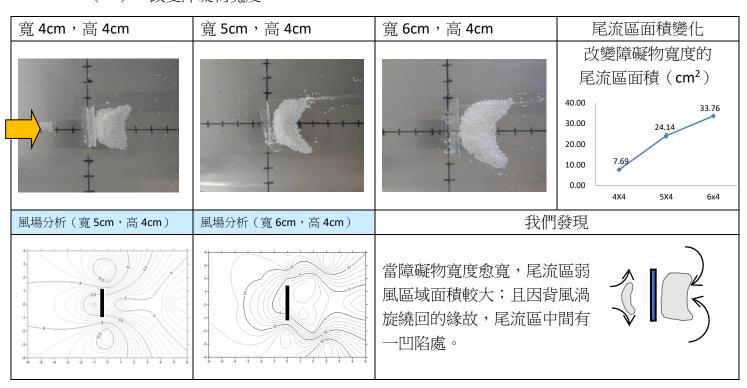


(二) 五號路徑

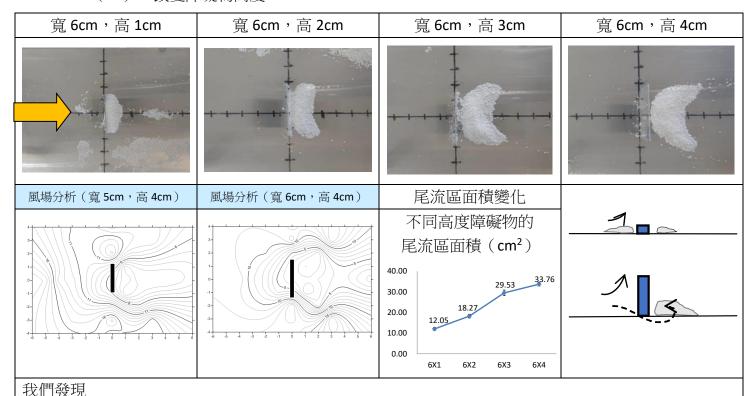


五、以直進型氣流場搭配障礙物進行流型模擬(風速均固定為 146.12km/hr)

(一) 改變障礙物寬度



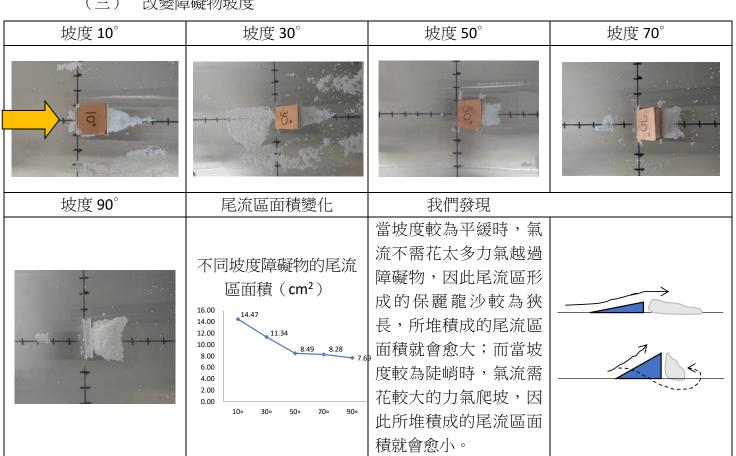
(二) 改變障礙物高度



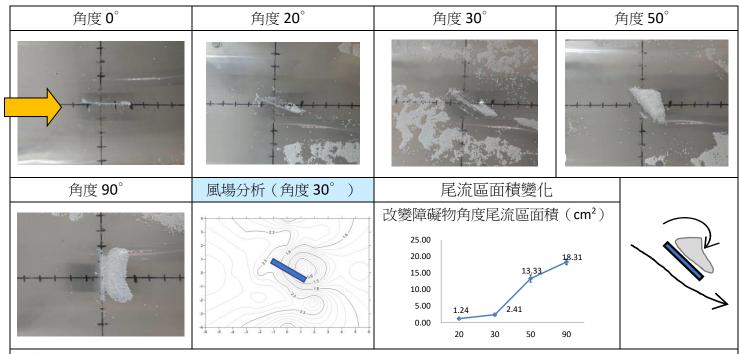
風會繞過障礙物並在背風側產生背風渦旋,尾流區(保麗龍沙堆積處)中央凹陷處,也會隨著障礙物高

(三) 改變障礙物坡度

度愈高而逐漸明顯。



(四) 改變障礙物角度

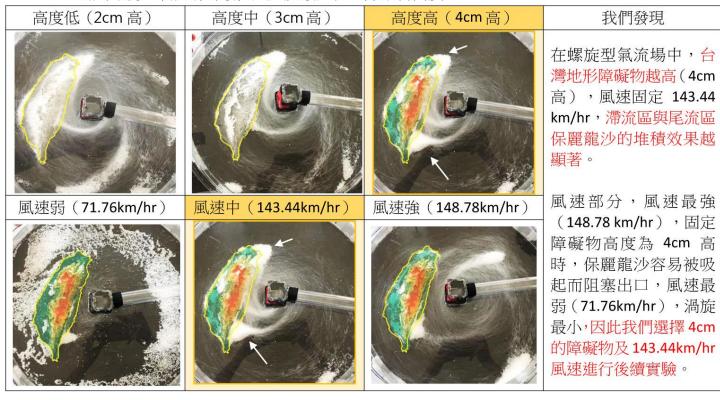


我們發現

當障礙物角度在 0°時,風受障礙物的影響極小,因此尾流區以及滯流區無保麗龍沙堆積。當障礙物角度在 30°時,風順著擋板角度而下,將背風側的保麗龍沙吹走,但在滯流區仍可看到保麗龍沙因角度切線影響有明顯堆積。而當障礙物角度在 50°時,會形成背風渦旋,障礙物呈 90°時,受背風渦旋影響,此時的尾流區堆積作用旺盛。

六、 以螺旋型氣流場搭配台灣地形障礙物進行流型模擬

測試螺旋型氣流場的最佳風速及最適合之障礙物高度



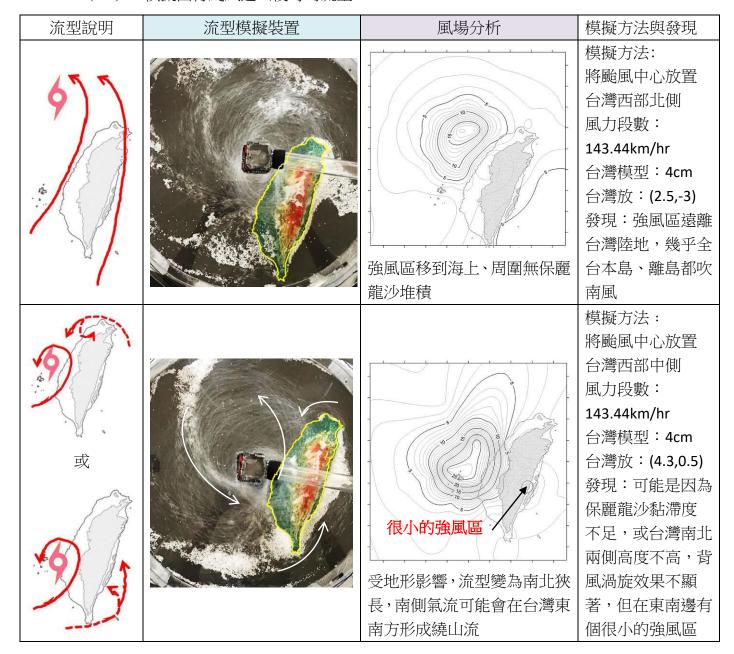
(一) 模擬西行颱風離台灣陸地較遠時的流型

流型說明	流型模擬裝置	風場分析	模擬方法與發現
\$ \$		少許氣流自南方繞山繞回	模擬方法: 將颱風中心放置 較遠的北側 風力段數: 143.44km/hr 台灣模型:4cm 台灣放:(-6.5,-1.5) 發現:在台灣東南 方形成一背風渦 旋(不明顯)
* 9	風切線	東南方附近的等值線有偏內凹、此處風速較弱	模擬方法: 將颱風中心放置 較遠的中側 風力段數: 143.44km/hr 台灣模型:4cm 台灣放:(-7,0) 發現:因輻合現象 而產生的狹長輻 合區(風切線)
*		地形影響小、風速等值線呈同心圓	模擬方法: 將颱風中心放置 較遠的南側 風力段數: 143.44km/hr 台灣模型:4cm 台灣放:(-7.5,5.5) 發現:結構較不受 地形破壞

(二) 模擬西行颱風離台灣陸地較近時的流型

流型說明	流型模擬裝置	風場分析	模擬方法與發現
		弱風 氣流繞過南端向北吹	模擬方法: 將颱風中心放置 較近的北側 風力段數: 143.44km/hr 台灣模型:4cm 台灣放:(-4,-3) 發現:尾流區呈狹 長形
		南部爬山流與北部沿山流輻合	模擬方法: 將颱風中心放置 較近的中側 風力段數: 143.44km/hr 台灣模型:4cm 台灣放:(-4.5,2) 發現:台灣東南方 形成尾流區
	尾流區	東部、西部形成兩股沿山流在東南側會合	模擬方法: 將颱風中心放置 較近的南側 風力段數: 143.44km/hr 台灣模型:4cm 台灣放:(-2.5,5) 發現:颱風受地形 影響在東南方形 成較短小尾流區

(三) 模擬西行颱風過山後時的流型



伍、 討論

颱風是一種熱帶性低氣壓,屬於逆時針旋轉的氣流,我們曾學過,當颱風在不同位置時, 我們會吹不同方向的風,但台灣是個南北狹長且山脈高聳的島嶼,對於颱風來說,算是一個 不易跨越的障礙物,因此我們提出一個假設,當颱風在碰到台灣這樣的地形時,通常颱風的 流型並不會保持一個完整的正圓形,而是會呈現不規則形。

為了探究颱風風場受地形的影響,我們閱讀了一 些文獻及氣象局網站的資料,發現颱風風場即使不受地 形影響也具有不對稱性,行進方向的右前方比較強,左 後方比較弱(氣象局,颱風百問),目两行侵襲台灣的 颱風,通常北側半徑大於南側,西側大於東側,且風場 也受地形影響(莊詠軫等,2018)。此外,風場的不對 稱性,也連帶影響颱風的路徑,中心會被風速較強的一 側牽引(郭官玟等,2015),而我們想知道的是:

颱風進行方向 900hpa

圖四、颱風風場的不對稱性 (圖自颱風百問)

風的軌跡怎麼觀察?遇到台灣時氣流怎麼繞?

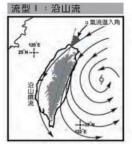
為了探究這一個主題,我們決定兩個重要的研究方法:

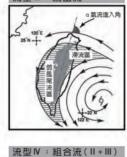
- 一、向氣象局申購氣象資料,利用台灣各地測站風向資料畫出風向風標圖,再推測風場形狀。
- 二、利用實驗室現有設備及過去科展颱風模型進行修改,變成「看得到風的軌跡的模型」。

首先,我們收集了近20年間西行、較強且較大型的颱風,包括凱米(2006)、龍王(2005)、 鳳凰(2008)、梅姬(2016)等29個颱風。分析這些颱風是因為:

- (一) 2000年後的全台測站設置較為健全、完整。
- (二) 盡量選擇大型目較強的颱風風場較為成熟、穩定,若太小型的颱風,有時中心 不太穩定。

依照氣象局統計,颱風遇到中央山脈產生的典型流型 有:沿山流、繞山流、爬山流、組合流等;依照颱風所在 位置以及氣流進入角,台灣各地可能因位於「弱風尾流區 (平均風速<10 kt)」或「地形性噴流區(平均風速≥40 kt)」而有很大的風速差異(張泉湧,2016)。然而,在我 們開始分析流型後發現,颱風流型變化多,可能不只上述 四種,我們希望再將其細分,找出規律性。





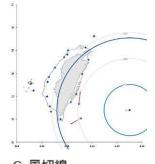




圖五、氣象局的流型分類(圖自張泉湧,2016) 颱風週山流場之典型模式:沿山流、繞山流、爬山流或其聯合

首先,颱風在過山時常常會因為台灣山脈走向,產生風向混亂的情形,因此一開始我們想要找出不受地形影響的風場,但又不能把颱風中心位置定得太遙遠,這樣測站風向可能未必是颱風造成,因此我們選擇颱風在(123.5°E)時的風向,並且只選擇了彭佳嶼、蘭嶼和綠島

等離島測站來做為主要分析的對象,而我們會選擇這些測站的原因是,在離島的測站地勢較平緩,風場不容易受到高山的影響。我們發現,當颱風位於中北側時,仍受地形影響而有繞山流;像是 2008 年的薔蜜颱風,出現綠島、蘭嶼分別吹颱風環流及繞山流的風,兩股氣流輻合,這也是造成颱風九大侵台豪大雨的條件之一(張泉湧,2016);而颱風在較南側時,離島風場才真正不受地形影響。



圖六、颱風九大侵台豪大雨條件 -G 風切線(圖自張泉湧,2016)

除了前述一開始所講到的離島測站分析颱風較遠時的流型(123.5°E),我們也選擇了過山前(122.0°E)、過山後(120.0°E)來分析,我們又將這三個不同的颱風位置再細分為北側、中側和南側,分析過程中,意外發現緯度差不多相同的颱風,流型也會相似,例如同樣在過山前(122.0°E),位於台灣北側的颱風(2006 碧利斯、2015 杜鵑),都會因為颱風的動能充足,且氣流又夠強大,而在台灣的東南側形成一個背風渦旋。後來我們又分析了一號及五號路徑的颱風,我們發現,由於颱風離本島甚遠,氣流大多是沿山脈東西側的沿山流。

然而,在我們的分析中我們發現,有時颱風位置差不多,但卻出現不同的流型,例如離台灣較近的北側流型,有時有背風渦旋,有時沒有;或颱風過山後的中側、南側流型,位置重疊範圍很大,我們覺得是因為大氣環境中的颱風,並不一定真的都是正圓形,而台灣雖是南北走向,但大約是北偏東 20°,據王時鼎等(1975)文獻指出,在 4000~5000 英呎下,氣流均以繞山為主,當氣流進入角(α)>15°時,會出現因回流產生的分層與渦旋。

在實驗模擬部分,我們一開始使用的是水流模擬,因為水比空氣好操作得多,我們將保 麗龍球放入水中,利用磁石攪拌器產生漩渦,觀察保麗龍球的軌跡,但發現保麗龍球會一直 於水槽內壁沾黏,且因為本身的重量很輕盈,加上水的浮力過大,導致保麗龍球不斷的在漩渦外圍徘徊,始終無法轉進,嘗試了無數次,結果保麗龍球的軌跡都不一致。我們後來利用奶泡機來製造漩渦,想藉此觀察軌跡,但問題仍然存在,使得我們的研究遲遲沒有進展。

於是我們放棄了水流場實驗,改以開發氣流場的裝置,我們參考「『風』迴路轉-以氣流 與水流模擬颱風過山的路徑變化」(謝仁祥等,2013),自製了一個直進型氣流場裝置,同時 參考「風度偏偏—分析颱風風場的不對稱性及實驗模擬」(莊詠軫等,2018)的裝置,開發螺 旋型氣流場,但我們將其改得略小一些、略扁一些,且我們把裝置改成透明的,以便於進行 觀察。我們想到墾丁的「風吹砂」地理景觀,在氣流場中加入保麗龍沙進行實驗,發現效果 相當不錯,而且保麗龍沙會飛、會堆積,很適合觀察風的軌跡。這些都是本實驗的特點。

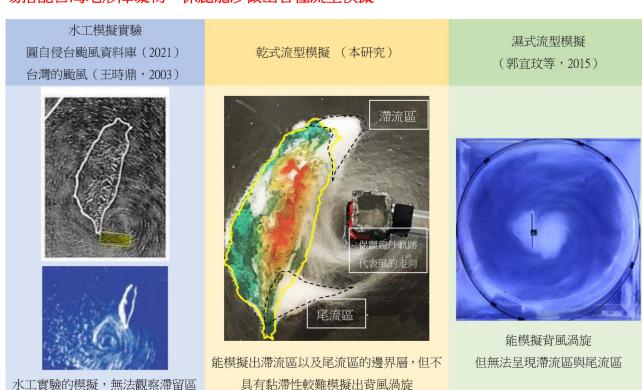
透過保麗龍沙分布狀況,可呈現出颱風來臨時的流場,以及颱風受到障礙物影響的分流情形,亦可觀察到,在障礙物前後方,形成的滯流區與尾流區的面積大小。在實驗過程中,我們在直進型氣流場下方,使用了切割墊、塑膠片、壓克力板和玻璃等材質作為基底來進行模擬,由於摩擦過後的保麗龍沙帶有靜電,使得保麗龍沙頻頻附著在前述材質的表面上,因此每次實驗結果差異過大,無法準確得到最精準的數據。

因此,我們嘗試以金屬材質的物品來做模擬。前前後後總共試了黑板、白板、鋁片、銅片,以及鐵板等含有鐵的材質物品做比較,最終我們發現,在鐵板上放置一層鋁片,以膠帶固定鋁片對角最為合適,不僅大大減少了靜電的強度,還能在鋁片光滑的表面用奇異筆畫上橫軸及縱軸(x、y軸),方便在拍照及分析數據時,準確定位每一次實驗障礙物的位置。我們在直進型氣流場中放入障礙物,使保麗龍沙在各障礙物前後方堆積,形成滯流區與尾流區。

我們也發展並改良了螺旋型氣流場,在實驗室桌面鋪上黑色的紙防止靜電,在拍照和錄影時,能更加清楚看出保麗龍沙的軌跡。接著,我們在此裝置中加入障礙物,觀察當面臨不同高度、寬度以及坡度時,對堆積而成的滯流區與尾流區所造成的影響,我們在實驗過程中,放入大小等比例、高度不一致的台灣模型來進行模擬,我們發現,當台灣模型高度過高時,

保麗龍沙沒有足夠的力量爬山,而是選擇以繞山為主,台灣模型高度太低時,各種流型則不明顯。

我們在閱讀了「侵台颱風之水工模擬(朱錦洲等,1993)」文中提到,台灣地形與長度比約為1:100,但在實際模擬上有其困難,為強調地形效應,須調整模型比例為1:6,本實驗測試了1:16、1:12、1:9.6、1:8、1:6等比例後,發現1:6的比例(長24cm,高4cm)依然是最好的,雖然這與實際比例差異甚大,但颱風的高約十多公里,寬達數百公里,本就是很扁平的構造,因此地形效應要顯著,確實要改變比例。而本實驗也確實可以利用此氣流場搭配台灣地形障礙物、保麗龍沙做出各種流型模擬。



圖七、各種不同模擬颱風實驗方法

與尾流區, 日操作上仍顯得複雜

我們將實際風場與實驗模擬結果進行比對,發現成果高度吻合,像是在離台灣陸地較遠時,當颱風中心位在中側時,我們將台灣模型放置在相對位置上,從我們的實驗結果發現, 氣流會從四周向颱風中心流動,而在台灣東南部形成一帶輻合區,且會在尾流區堆積保麗龍沙。接著我們仍然放在同一經度上,但颱風中心位於南側時,我們發現在離島測站(綠島、蘭嶼、彭佳嶼),因為沒有太高聳的山脈破壞颱風結構,因此就呈現較單純的逆時針環流現象。而在離台灣陸地較近,我們發現颱風中心在北側時,因為氣流不具有足夠的力量,因此 以繞山流繞過台灣南端,使得逆時針環流變得較狹長;颱風中心位於中側時,會於台灣南方出現爬山流;颱風中心位於南側時,形成兩股氣流,因此僅東南方有尾流區的存在。而我們在過山後的模擬中,因本實驗的螺旋型裝置不夠高,而保麗龍沙是獨立的個體,相較於水、風,這些流體具有黏滯性,所以較難模擬出背風渦旋。

相關文獻中我們得知,颱風在遇到台灣山區障礙物時,會產生「爬山」或「繞山」的現象,這取決於**爬山動能的大小**,也就是夫如數(Fr=U/NH),U為**風速**;N為氣流之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<mark>高度</mark>。當高夫如數時,氣流已有能力爬山,而在低夫如數時氣流會以繞山為主(Smolarkiewicz and Rotunno,1989)。例如,我們在分析 1、5 號路徑的颱風時,發現風吹的方向都會與山脈走向相同,因為颱風中心較遠,氣流動能不足,只能以繞山為主。

我們發現當颱風中心位於中側時,會比較容易在南方有爬山流,因為台灣南部的山脈較為平緩,所以氣流較容易越過。而颱風中心位於北側時,台灣南端較容易產生繞山流,因為這個時候颱風中心離南部有一段距離,因此在南邊的氣流無法爬過山脈,只能選擇繞山。

日後,我們也想針對颱風所挾帶的雨量因素,做更進一步地探究,因為台灣地形屏障的關係,風向影響雨量,超級雨量有時反而比風更可怕,這是我們未來想深入瞭解的部分。

陸、 結論

- 一、為了分析颱風是否會受到地形影響而造成風場改變,本研究開始逐步分析各測站的實際 颱風風向資料,並利用氣象局颱風警報單進行比對,進而製作氣流型裝置搭配保麗龍 沙,以便模擬颱風的滯流區、尾流區、爬山流、繞山流、沿山流等流型。
- 二、分析較不受地形破壞(颱風暴風圈尚未登陸台灣本島、且結構未受破壞)時的颱風風場, 我們選擇在(123.5°E)時,中心位在不同緯度的颱風進行分析,觀察各離島測站(彭佳 嶼、綠島、蘭嶼)風向資料歸納數種流型,分析未受地形破壞的颱風風場,我們發現:
 - (-) 當颱風離台灣北部較靠近時 $(123.5^{\circ}E, 24.0 \sim 24.1^{\circ}N)$,因外圍環流較大,氣流遇

到山脈時以大角度進入,順著西部平原南下,在東南側形成一股背風渦旋。

- (二) 當颱風離台灣中部較靠近時(123.5°E,22.4~23.5°N),綠島經常吹北風(颱風環流);蘭嶼吹南風(繞山流),且在本島東南方產生一個輻合區(風切線)。

三、 西行颱風與台灣較近時(122°E)

- (一)當颱風中心最北時(122°E,23.6~24.9°N),受台灣地形影響,台灣東南側的繞山氣流向北吹,無動能產生背風渦旋。
- (二) 當颱風中心靠近台灣北部陸地(122°E,24.4~24.5°N)時,南側氣流與山脈夾角較大,且氣流夠強,可在東南側產生背風渦旋。
- (三)當颱風中心靠近台灣中部陸地(122°E,23.2~24.1°N)時,因颱風與台灣的距離 更靠近,南側氣流動能大,可爬山,並與台灣東部的沿山氣流產生輻合的現象。
- (四) 當颱風中心靠近台灣南部陸地(122°E,20.3~22.6°N)時,颱風的逆時針氣流在台灣東部、西部形成兩股沿山流,僅東南方有一尾流區。

四、 西行颱風過山後(120°E)

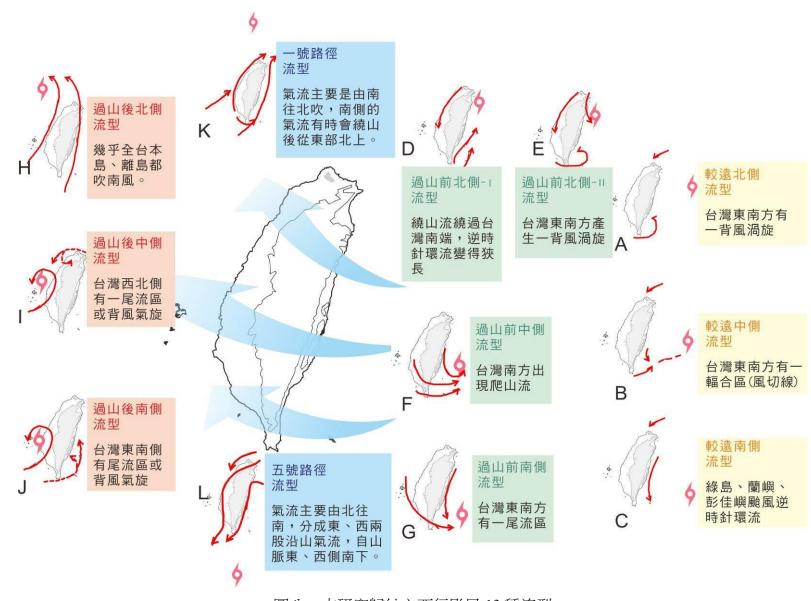
- (一)當颱風中心最北時(120°E,25.2~26.0°N)時,全台測站大多吹南風。因為颱風 北上,台灣處於一個等壓線垂直分布且氣壓梯度大的區域。
- (二)當颱風中心於台灣中部西側時(120°E,23.3~24.8°N)時,有機會於台灣北方形成尾流區或背風渦旋。
- (三) 當颱風位於海峽南部(120°E,22.4~23.9°N)時,會在台灣東南方形成繞山流或背風渦旋。

五、 一、五號路徑颱風(121°E)

- (一)一號路徑:當颱風在北方海面時,氣流主要由南沿山往北吹,南側的氣流有時會繞山後,從東部北上。
- (二) 五號路徑:當颱風在南方海面時,氣流主要由北沿山往南吹,分成東西兩股氣流從山脈東西側南下。

→我們發現:位置接近且條件類似的颱風,普遍有類似的流型

→我們發現:氣流進入角與是否形成背風渦旋有關



圖八、本研究歸納之西行颱風 12 種流型

六、 從直進型氣流場實驗我們發現:

- (一) 當障礙物寬度愈寬,尾流區面積相對較大,滯流區的保麗龍沙堆積亦較為明顯。
- (二) 放不同高度的障礙物時,風會繞過障礙物並在背風側產生背風渦旋,尾流區也會 隨著障礙物高度愈高而逐漸遞減。
- (三) 當障礙物不同坡度時,我們發現當坡度愈平緩,所形成的尾流區就會愈狹長,那 是因為氣流不需用太大的力量跨越障礙物,於是以爬山為主;而當障礙物愈陡峭, 尾流區就會較短小,因為氣流需要較大的力量才能越過障礙物,無動能爬山,因 此會改以繞山為主,在背風側形成背風渦旋。
- (四) 障礙物放置不同角度時,0度時,風受障礙物的影響極小,因此無保麗龍沙堆積。 障礙物角度 30度時,風順著擋板角度而下,將背風側的保麗龍沙吹走,但在滯流 區仍可看到保麗龍沙因角度切線影響有明顯堆積。障礙物角度 50度時,會形成背 風渦旋,在滯流區無明顯堆積。障礙物角度 90度時,受背風渦旋影響,此時的尾 流區堆積作用最旺盛。

→我們發現:障礙物寬度、高度、坡度、擺放角度,都會影響尾流區的大小及背風渦旋。

- 七、從螺旋型氣流場實驗我們發現:利用本實驗的裝置可以清晰的觀察到許多颱風流型、尾 流區、滯流區等現象,但在背風渦旋的模擬效果不顯著,推測是因為保麗龍沙缺乏黏滯 度,這部分可以用溼式氣流場補足。
 - (一) 當台灣位置放在離台灣陸地較遠時
 - 1. 當颱風中心位於台灣北側,因氣流繞回的緣故,台灣東南方產生一弱風區及背 風渦旋(不明顯)。
 - 2. 當颱風中心位於台灣中側,綠島的風向是由北往南吹,蘭嶼的風向是由南往北吹,在本島東南方附近的等值線有偏內凹的情形,證明風速較弱,有一狹長尾流區。(輻合區、風切線)
 - 3. 當颱風中心位於台灣南側,在沒有地形的影響下,彭佳嶼、綠島、蘭嶼都僅有 單純的颱風逆時針環流,等值線呈同心圓。

(二) 西行颱風與台灣較近時

- 1. 當颱風中心最北時,尾流區呈狹長形,因南側的繞山氣流向北吹,無動能產生背風渦旋。
- 2. 當颱風中心靠近台灣中部時,發現南側氣流已有動能可爬過山脈,使南部爬山 氣流與北部沿山氣流產生輻合的現象,加上南側繞山流,可看到有兩道尾流區 在台灣東南方產生。
- 3. 當颱風中心靠近台灣南部時,颱風的逆時針氣流在台灣東部、西部形成兩股沿山流,氣流爬過南部山脈之後與颱風中心環流會合,僅東南方有一尾流區。

(三) 西行颱風過山後

- 因受到台灣地形影響,強風區移到海上,全島大多吹南風,台灣模型周圍幾乎 無保麗龍沙堆積。
- 2. 當颱風中心位於台灣西部中側時,我們發現颱風結構已受地形影響變為南北狹長,風場呈現不對稱性,南側氣流可能會在台灣東南方形成繞山流,或者是於台灣地形障礙物後方形成一個小且風速較強的區域。

→我們發現:利用本實驗的流型模擬裝置,將台灣地形障礙物擺放在與實際分析流場的相對 位置時,可以模擬出與實際狀況相當類似的流型結果。

柒、 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. 颱風預報輔助系統 http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/typhoon_eye/about_NEed.htm
- 4. 颱風百問-中央氣象局 http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/typhoon.pdf
- 5. Windy 數值風場模擬 https://www.windy.com/
- 6. 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 2:23-35。
- 7. 朱錦洲、王時鼎、郭光輝(1993)。侵台颱風之水工模擬。天氣分析與預報研討會論文彙 編。P.33-42。
- 8. 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。
- 9. 葉天降、蕭玲鳳、陳得松、黃康寧(2007)。台灣地形引致颱風路徑廻轉之探討。氣象科技研究。中央氣象局。
- 10. 謝仁祥、劉琨庭(2013)。風迴路轉-以氣流與水流模擬颱風過山的路徑變化。第 53 屆中小學科學展覽會。國中組地球科學科。
- 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. 張泉湧(2016)。圖解大氣科學。五南出版社。257 頁。
- 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 屆中小學科學展覽會。高中組地球科學科。

【評語】030502

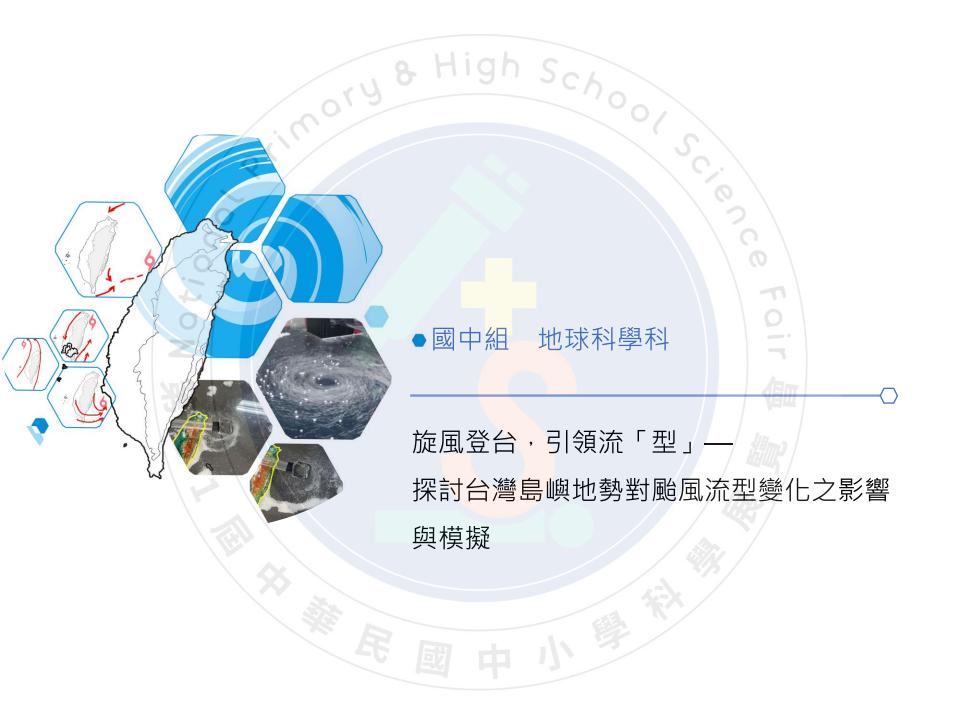
【優點】

- 1. 此研究主題具防災性與氣候相關,為延續主題之成果。
- 2. 研究將構想具體化,完整作出實驗,日誌詳盡。
- 3. 詳細整理現有資料,並與前人研究成果比較。
- 研究結果搭配詳盡的討論,說明地形影響颱風流型,同時 也說明未來可能工作。
- 5. 實驗設想、規劃有創新性。
- 6. 簡報流利,回答精簡、切合主題。

【建議】

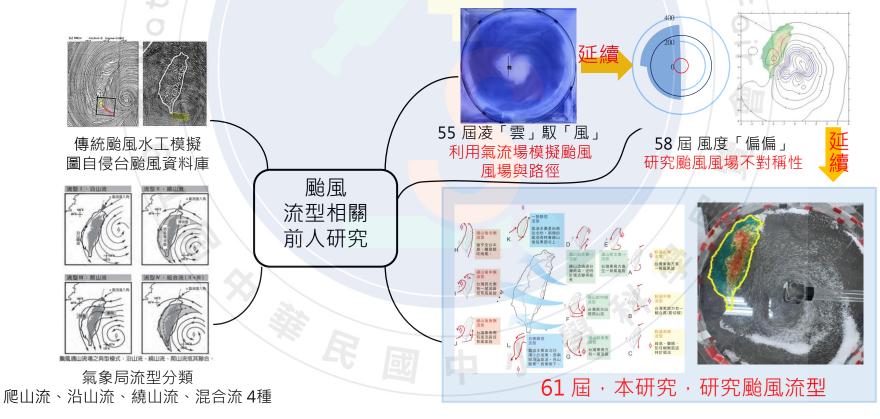
- 考量其他的物理機制(例如激烈降雨可能會改變渦漩特性, 流體層化效應)在水工實驗裡沒有辦法處理的問題。
- 將來可考量不同的影響因素,例如尺度比例放大的問題, 柯氏力的影響,模型邊界的設定與討論,與度量的方法及 不確定性,放大適用到臺灣的實際狀況。

作品簡報

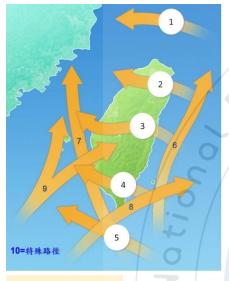


前言—研究問題與前人研究

- 為了探究侵台颱風的流型種類,我們申購氣象資料進行分析,並設計氣流 場實驗,透過保麗龍沙觀察風的軌跡,並與實際流型比對。
- 本研究與過去不同的研究重點:
 - 1. 研究颱風風場遇到台灣地形的「流型」改變情形
 - 2. 設計實驗觀察「風的軌跡」與「風場流型」



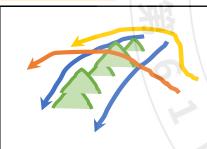
研究方法—分析方法與模擬方式



分析颱風

	一號	馬莎(2005)	卡努(2005)	桑美(2006)
	路徑	瑪莉亞 (2018)	利奇馬(2019)	
J	二號路徑	賀伯(1996)	碧利斯(2006)	卡玫基(2008)
1		薔蜜(2008)	蘇力 (2013)	杜鵑 (2015)
		尼莎 (2017)		
		海棠(2005)	龍王 (2005)	泰利(2005)
	三號路徑	凱米(2006)	鳳凰 (2008)	莫拉克(2009)
		麥德姆(2014)	蘇迪勒(2015)	梅姫(2016)
I	四號路徑	莫拉克(2003)	帕布(2007)	凡那比(2010)
		尼伯特(2016)	白鹿(2019)	
	五號 路徑	尤特(2001)	杜鵑 (2003)	天兔(2013)
L		閃電(2020)		

觀察重點



繞山流(黃): 氣流動能不足時,

遇到障礙物只能繞山

爬山流(橘): 氣流動能足夠或

坡度平緩、山勢不高,可以爬山

沿山流(藍):氣流進入角可順

著山脈走向流動



滯流區:

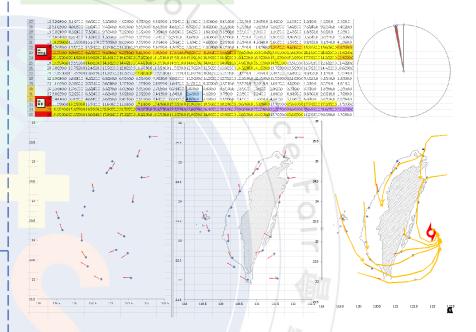
迎風面氣流分 流的邊界層



尾流區:

位在物體後方 的流場區域, 經常風向混 亂、風速弱,或 有渦游發生

實際流型分析方法



A.中央氣象局的逐時風速風向資料

B.利用Excel的圓餅圖製作風標

C.將測站位置與風標疊合

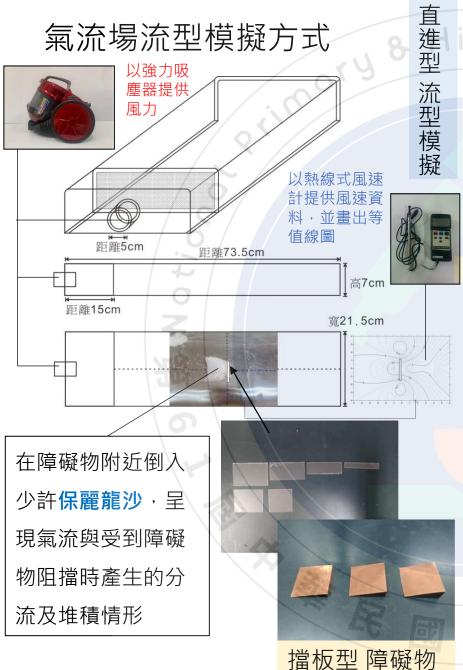
D.與台灣地形疊合

E.畫出風場風向圖

→歸納流型種類與趨勢



氣流場流型模擬方式



高6cm 旋型 長23cm 流型模擬 以強力吸 塵器提供 高6cm 風力 以熱線式風速 計提供風速資 直徑45c 料,並畫出等 值線圖 本流型模擬器為 透明,可觀察保 麗龍沙的運動與 堆積情形

台灣型 障礙物

螺

研究架構、研究結果與分析討論

台灣地形 對 颱風「流型」變化 之影響研究



1~5號路徑, 123.5、122、121、 120∘E



開發<mark>直進型氣流場</mark> 觀察各種地形效應 的影響

觀察障礙物寬、高、 角度、坡度影響

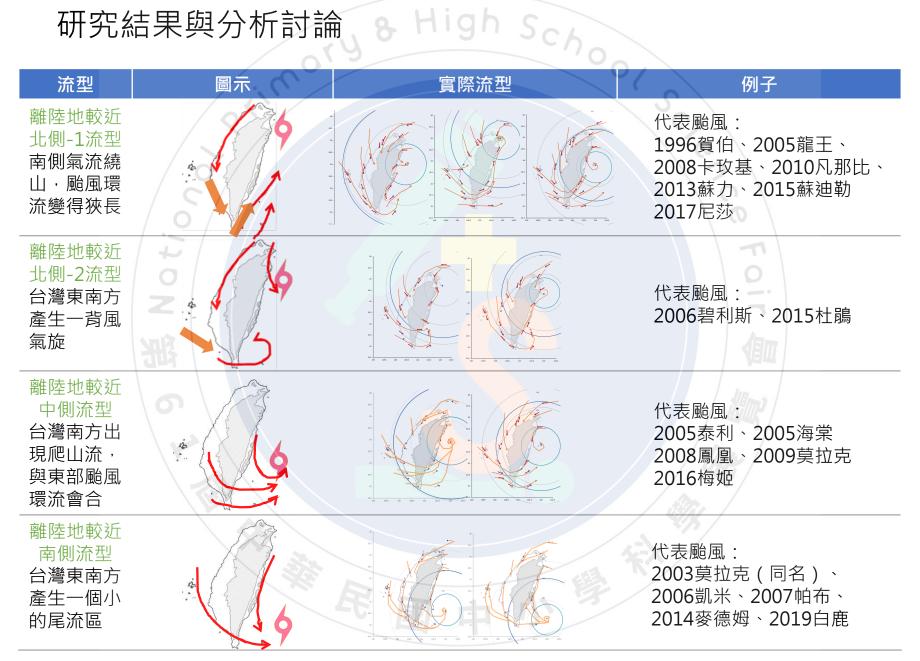


開發<mark>螺旋型氣流場</mark> 觀察各種地形效應 的影響

與實際流型比對

流型 實際流型 例子 圖示 離陸地較遠 北側流型 台灣東南方 代表颱風: 產生一背風 2010凡那比、2013蘇力 氣旋 離陸地較遠 代表颱風: 中側流型 2005泰利、2005海棠、 台灣東南方 2006碧利斯、2008薔蜜、 有一輻合區 2009莫拉克、2015杜鵑、 綠島、蘭嶼 2015蘇迪勒、2016梅姬 風向不同 離陸地較遠 南側流型 代表颱風: 離島風場較 2006凱米、2008鳳凰、 不受台灣地 2016尼伯特、2017尼莎 形影響

研究結果與分析討論

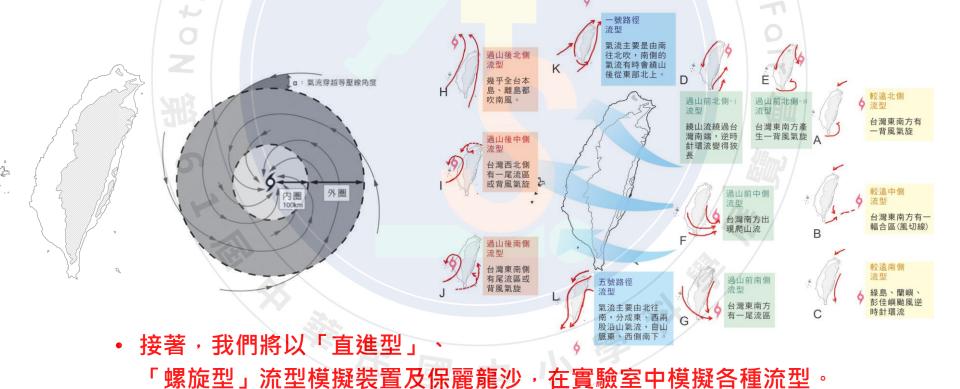


研究結果與分析討論。High Sch

		9	
流型	圖示	實際流型	例子
過山後 北側流型 氣壓梯度東 高西低·全 島吹南風			代表颱風: 1996賀伯、2005海棠 2006碧利斯、2008卡玫基 2009莫拉克、2017尼莎 2013蘇力
過山後 中側流型 台灣西北側 尾流區有機 會形成背風 氣旋	N N N N N N N N N N N N N N N N N N N		代表颱風: 2003莫拉克(同名) 2005泰利、2014麥德姆 2015杜鵑、2015蘇迪勒 2016梅姬
過山後 南側流型 台灣東南側 尾流區有機 會形成背風 氣旋			代表颱風: 2005龍王、2007帕布 2010凡那比、2016尼伯特 2006凱米、2019白鹿
1號及5號 路徑流型 台灣東西側 均以沿山流 為主			代表颱風: 2005馬莎、2006桑美 2019利奇馬、2018瑪莉亞 代表颱風: 2020閃電、2001尤特、 2003杜鵑、2013天兔

研究結果與分析討論 J論 & High Schoo

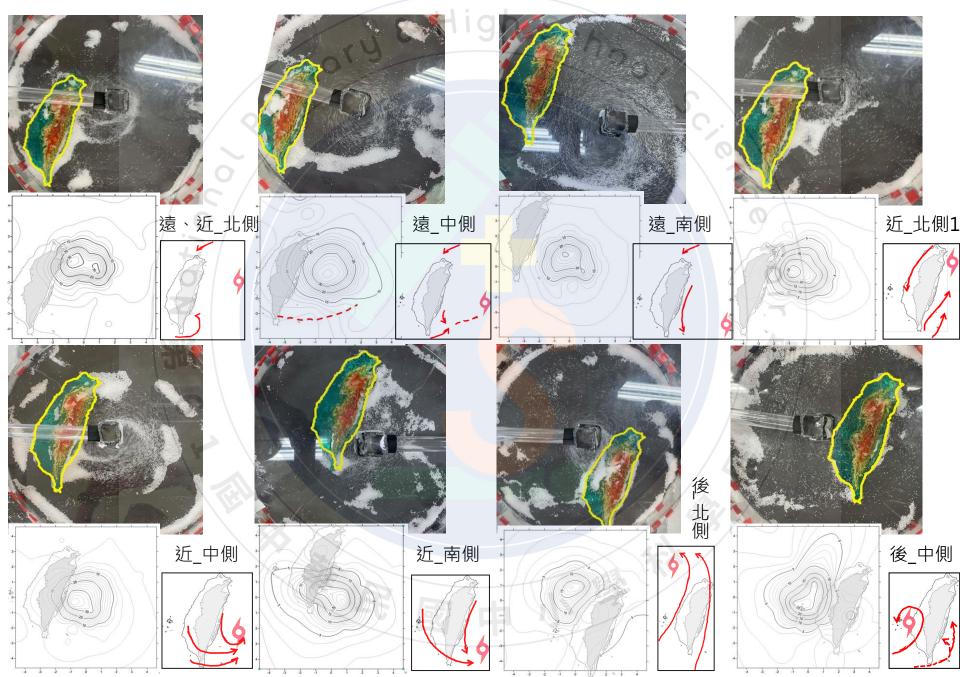
- 我們發現:
 - 台灣山勢陡峭,颱風的氣流不只是單純逆時針環流,還要考慮地形
 - 位置接近且條件類似的颱風,普遍有類似的流型
 - 氣流「進入角」與 是否形成「背風氣旋」有關
 - 颱風遠近、暴風半徑、山的高矮會影響是否有動能爬山



研究結果與分析討論「直進型」流型模擬



研究結果與分析討論「螺旋型」流型模擬



研究結果的解釋

- 本研究主要分析平地測站的風向,因此,地形效應會較明顯。據王時鼎等(1975)指出,在 4000~5000 英呎下,氣流均以繞山為主;此外,文獻也指出:當氣流進入角(α)>20°時, 會出現因回流產生的分層與渦旋。我們的分析發現,當颱風在東經122度時,北側流型有可能有 或無背風氣旋,也可能是氣流進入角度不同導致。
- 相關文獻中我們得知,颱風在遇到台灣山區障礙物時,會產生「爬山」或「繞山」的現象,這 取決於爬山動能的大小,也就是夫如數(Fr=U/NH),U 為風速;N 為氣流之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。我們在分析1、5 號路徑的 颱風時,發現風吹的方向都會與山脈走向相同,因為<mark>颱風中心較遠,氣流動能不足,無法爬山</mark>; 且過山前的中側流型,因為**颱風中心較近,南部有爬山流發生**。
- 我們在螺旋型氣流場實驗中使用的台灣模型是比實際比例高的。在「侵台颱風之水工模擬(朱錦洲等,1993)」中提到,台灣實際地形與長度比約為1:100,但在模擬上有其困難,為強調地形效應,須調整模型比例為1:6,本實驗也發現此比例(長24cm,高4cm)依然是最好的。
- 利用本實驗的流型模擬裝置,將台灣地形障礙物擺放在與實際分析流場的相對位置時,可以模 擬出與實際狀況相當類似的流型結果,但無法模擬背風氣旋,可能是黏滯度的問題。

未來展望

- 日後,我們也想針對颱風所挾帶的兩量因素,做更進一步地探究,因為地形影響流型, 而風向影響兩量,超級雨量有時比風更可怕,這是我們未來想深入瞭解的部分。
- 我們也希望針對除了1~5號路徑以外的其他路徑,分析風場結構。
- 我們也希望將氣流場實驗更加標準化,或將保麗龍沙移動的軌跡以長時間曝光達成。

參考文獻

- 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2:23-35。
- 朱錦洲、王時鼎、郭光輝(1993)。侵台颱風之水工模擬。天氣分析與預報研討會論文 彙編。P.33-42。
- 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。
- 張泉湧(2016)。圖解大氣科學。五南出版社。257頁。
- 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屆中小學科學展覽會。高中組地球與行星科學科。