

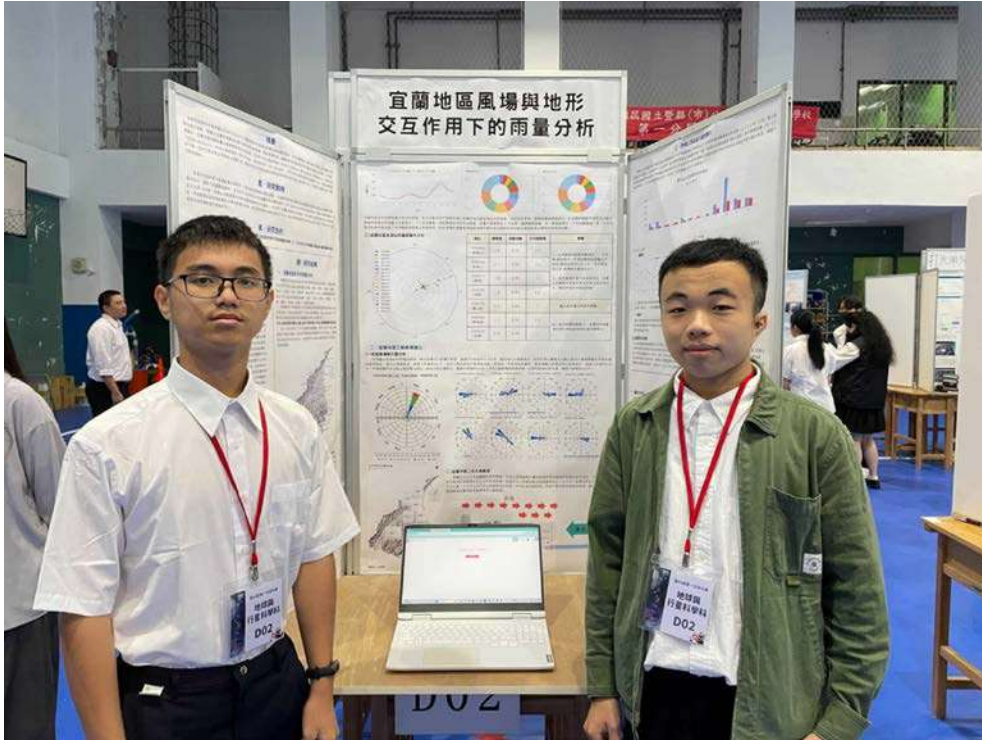
2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	180003
參展科別	地球與環境科學
作品名稱	宜蘭地區風場與地形交互作用下的雨量分析
得獎獎項	四等獎

就讀學校	國立宜蘭高級中學
指導教師	林清正
作者姓名	廖錫雍 李冠燁

關鍵詞	<u>地形效應、東北季風、西風迴流</u>
-----	-----------------------

作者簡介



大家好，我是廖錫雍，來自於宜蘭高中，是個完美主義者，專長是程式設計，陰錯陽差下就踏上了地科之路，陸陸續續參與的科展、學科賽及各式各樣的地科競賽。我和隊友經歷了一年多的努力，一步步從無到有，最終將成果展現在各位眼前，希望內容對身處在雨都的大家有所幫助。

大家好，我叫李冠燁，目前就讀於宜蘭高中，我是一個隨和老實的人。我的喜好是踢足球以及吃東西。我對地球科學最有興趣，也在這方面學習的最好。我對這個世界充滿好奇心，常常對遇到的事物提出疑問，再尋求解答。

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：地球與行星科學科

組 別：高 中 組

作品名稱：宜蘭地區風場與地形交互作用下的雨量分析

編號：

關鍵詞：地形效應、東北季風、西風迴流

摘要

本研究利用中央氣象署 2003 年至 2022 年在宜蘭地區的地面測站雨量及風場觀測資料，分別在蘭陽溪以北與以南的平原與山區各選取十個測站進行分析，再輔以宜蘭降雨觀測計畫所提供的探空斜溫圖，探討宜蘭地區三維風場及因特殊地形作用所產生的雨量分布及變化。研究結果顯示：宜蘭地區的降雨量多寡與降雨特性分成五區，分別是中央山脈迎風面（4000~5000mm）>雪山山脈山區（約 3500mm）>平原內部（2500~3200mm）>中央山脈背風側（約 2700mm）>無地形作用（約 1200mm）。其中中央山脈迎風地區年雨量逐年上升，背風面雨量逐年下降。另大尺度的東北季風進入宜蘭平原，與地形交互作用產生繞流西風再與低層東北季風產生輻合舉升作用，常造成了宜蘭地區冬季劇烈降雨事件。

壹、研究動機

從高中地球科學大氣運動單元課程中了解空氣絕熱膨脹冷卻過程，而宜蘭冬季多雨主要是東北風受地形舉升後產生的連續性層狀降水為主，查詢了雨量觀測資料：在 2020 年 12 月有 29 天的連續雨日紀錄外，同年 10 月中旬也有單日雨量超過 400 毫米的劇烈降雨。而在 2022 年十月時，西帽山自動測站的單月雨量竟高達到 4574mm，也打破了台灣氣象觀測史的紀錄。另外我們也發現宜蘭地區大部分測站，降雨期間地面測得的風向主要為西風至西南風，與我們所認知的東北風完全不同。因此我們嘗試對東北季風在地形作用下所產生的小區域對流發展機制進行詳細研究。

貳、研究目的

- 一、了解宜蘭地區降雨空間分布特性
- 二、了解宜蘭平原三角地形作用下的區域環流特徵
- 三、2022 年 10 月西帽山測站超大豪雨事件探討
- 四、製作聊天機器人以及爬蟲程式

參、研究設備及器材

一、觀測資料：

(一) 中央氣象署氣候觀測資料(地面雨量、風場)

(二) 宜蘭地區劇烈降雨實驗(探空斜溫圖)

二、分析軟體：

(一) PYTHON

(二) EXCEL

肆、研究過程與方法

本研究選定 20 個宜蘭地區氣象測站，利用其 2003 年到 2022 年共計 20 年的雨量及地面風場觀測資料，以及宜蘭地區劇烈降雨實驗的探空氣球觀測資料，嘗試解析宜蘭地區的降水空間分布特性、並利用地面與高空風場資料，建立東北季風受山脈地形所產生的繞行模型，最後進行探 2022 年 10 月西帽山劇烈降雨異常探討：

一、文獻回顧

宜蘭地區根據年雨量多寡，可分成數個降雨區域，各學者也有針對宜蘭降雨特性進行研究，如吳若瑜（2023）對宜蘭冬季之東北季風及地形跟降雨關係的探討，透過氣象模擬系統，分析出宜蘭地區的降雨機制及特徵，根據分析結果，宜蘭冬季降雨一為東北季風帶來海上對流胞外，也有蘭陽平原上固定產生對流胞，延續該區域整體降水系統之生命期，進而造成宜蘭冬季持續性的長延時降雨；陳盈曄及林沛練（2000）對宜蘭秋冬季降雨特性做研究，說明宜蘭溪南地區的地形為高達數千公尺的山區，且西帽山及西德山一帶的地形呈現口袋狀，常造成秋冬季連續性的降雨；林淑芬（2018）對宜蘭地區之秋季共伴豪雨跟聖嬰現象的相關性做研究，透過匡列出太平洋產生共伴颱風的區域，研究侵襲的颱風帶來的共伴豪雨事件與南方震盪指數之關聯性，研究結果指出在赤道太平洋進入反聖嬰時期的秋季，有較多颱風的移動路徑向西直行經過台灣南方海域，這將有利於共伴效應的發生。

二、本研究選定的中央氣象署測站(署屬有人站及署屬自動站)及分布

測站名（溪北）	測站代碼	測站名（溪南）	測站代碼
宜蘭	467080	南澳	C0U770
雙連埤	C0U520	五結	C0U780
礁溪	C0U600	三星	C0U890
龜山島	C0U750	羅東	C0U940
頭城	C0U860	翠峰湖	C0U960
大礁溪	C0U870	白嶺	C0UA30
北關	C0U880	西德山	C0UA40
內城	C0U900	西帽山	C0UA50
大福	C0U970	樟樹山	C0UA60
員山	C0U990	蘇澳	C0UB10

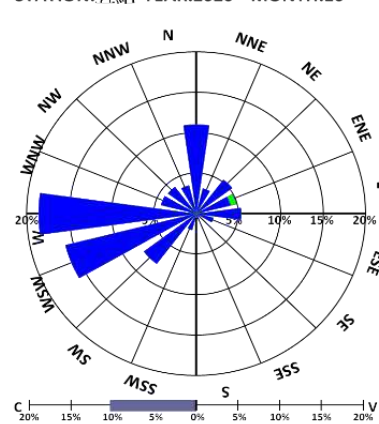
三、資料處理與流程

我們利用PYTHON對資料進行初步處理，使用其中的openpyxl函式庫將CODIS所提供的風速風向資料分級以便後續分析及繪圖。利用整理後的資料我們再透過PYTHON中的matplotlib函式庫及EXCEL繪製風花及泰勒圖。

(一)風花圖繪製：

風花圖可直觀的看出該地區在單位時間中（本實驗以月為單位）各風向占比和強度，及靜風與靜風比例（右圖下方）。

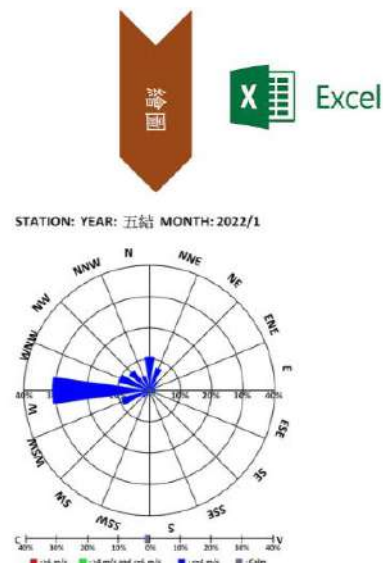
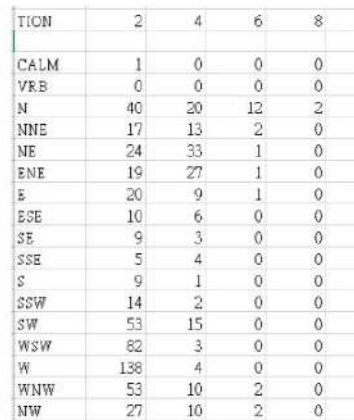
STATION:五結 YEAR:2020 MONTH:10



風花圖(自行繪製)

泰勒圖可同時表示數據間的標準差、方均根誤差及相關係數三個數據的圖表，我們用其來表示不同測站的雨量相關度。

綠線與紅線夾角：資料點與對照資料間的相關係



示意圖(自行繪製)

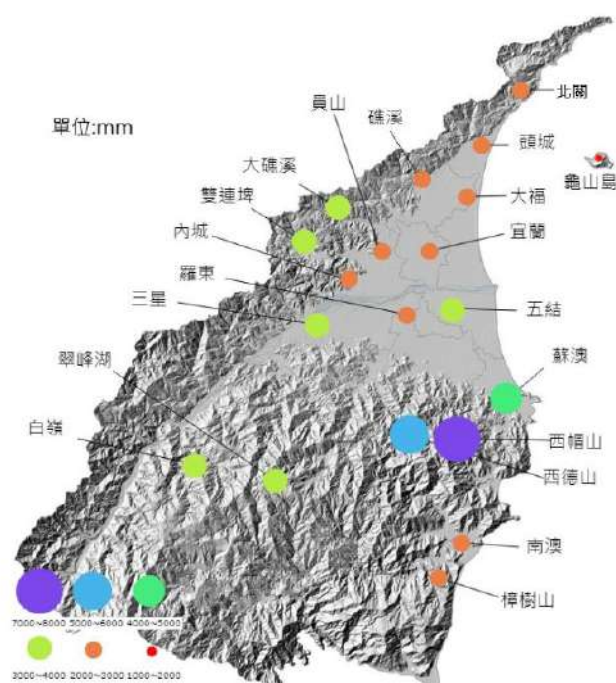
伍、研究結果

一、宜蘭地區年平均雨量分析：

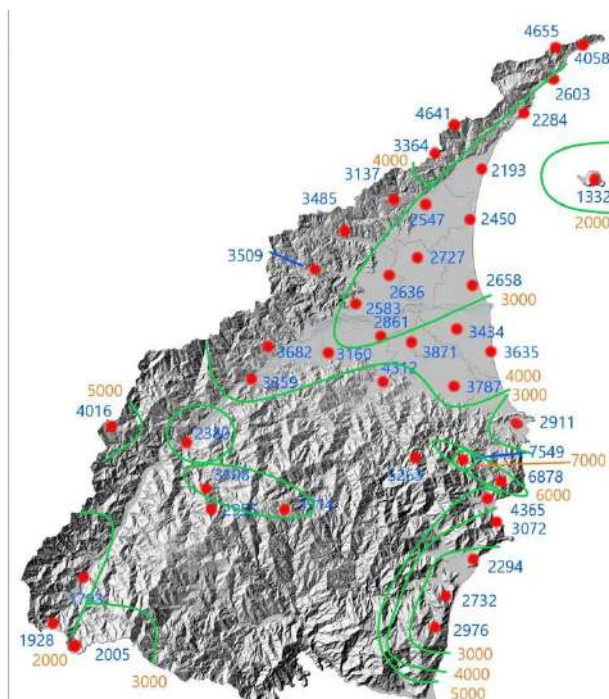
根據測站所處山區地形及可供資料距海遠近等條件，從蘭陽溪以北平原及雪山山脈山區挑選出北關、頭城、礁溪、大福、宜蘭、員山、大礁溪、內城、雙連埤、龜山島等 10 站；另從蘭陽溪南邊平原至中央山脈山區挑選出南澳、五結、三星、西帽山、西德山、白嶺、羅東、翠峰湖、樟樹山、蘇澳等測站，測站位置如(圖一)。

根據統計的年總雨量大小及考量地形特徵將宜蘭地區降雨分為五個分區：中央山脈迎風面、中央山脈背風側、雪山山脈山區、平原內部及無地形作用，其年總雨量平均大小排序如下：中央山脈迎風面（4000~5000mm）>雪山山脈山區（約 3500mm）>平原內部（2500~3200mm）>中央山脈背風側（約 2700mm）>無地形作用（約 1200mm）。

進一步我們作出了年平均雨量等值線圖（圖二），發現平原中大致以蘭陽溪河谷為分界線，以北的平原區域內雨量皆小於 2700 mm；蘭陽溪以南則是大於 2800 mm。且溪南中央山脈山區的西帽山及西德山為降雨熱區。



圖(一)：2003~2022 年平均雨量分布（自行繪圖）



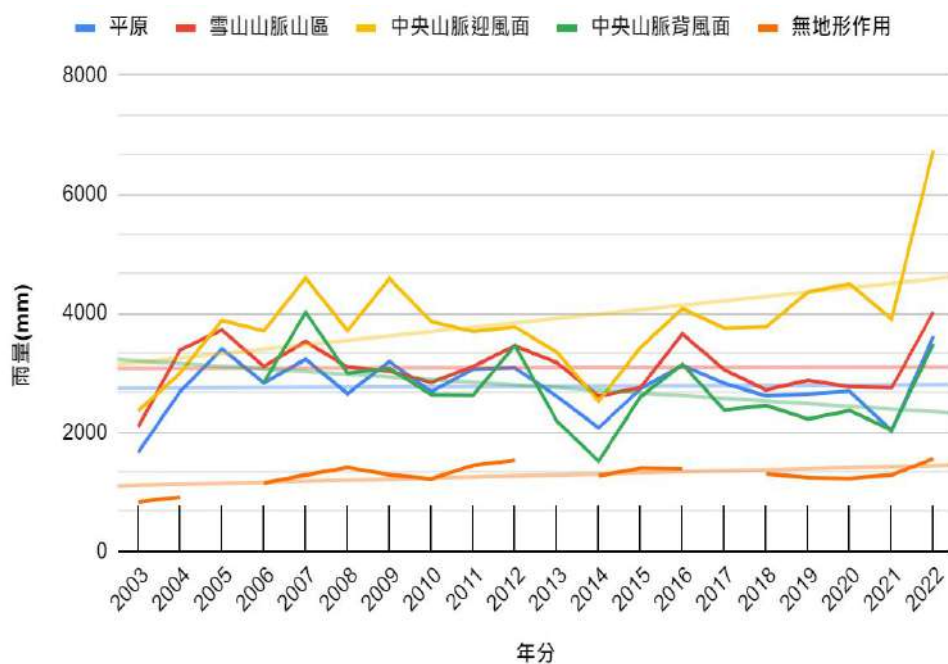
圖(二)：年平均雨量等值線圖（自行繪圖）

(一) 以蘭陽溪河谷為分界的雨量差異性分析：

由宜蘭地區年平均雨量等值線圖（圖二）中發現：宜蘭地區雨量大致以橫貫宜蘭平原的蘭陽溪分界，因此我們繼續進行以蘭陽溪為分界的差異性分析。（圖三）中我們發現溪南地區雨量有明顯上升趨勢但溪北地區持平，於是我們進一步分析宜蘭五分區年雨量及趨勢如（圖四），圖中我們可以看出中央山脈迎風面年雨量有上升趨勢，其背風側則是持續下降，無地形作用地區有些微上升，其他地區無明顯趨勢。



圖(三)：2003-2022 年溪南及溪北年總雨量 (mm) 變化趨勢圖(自行繪圖)

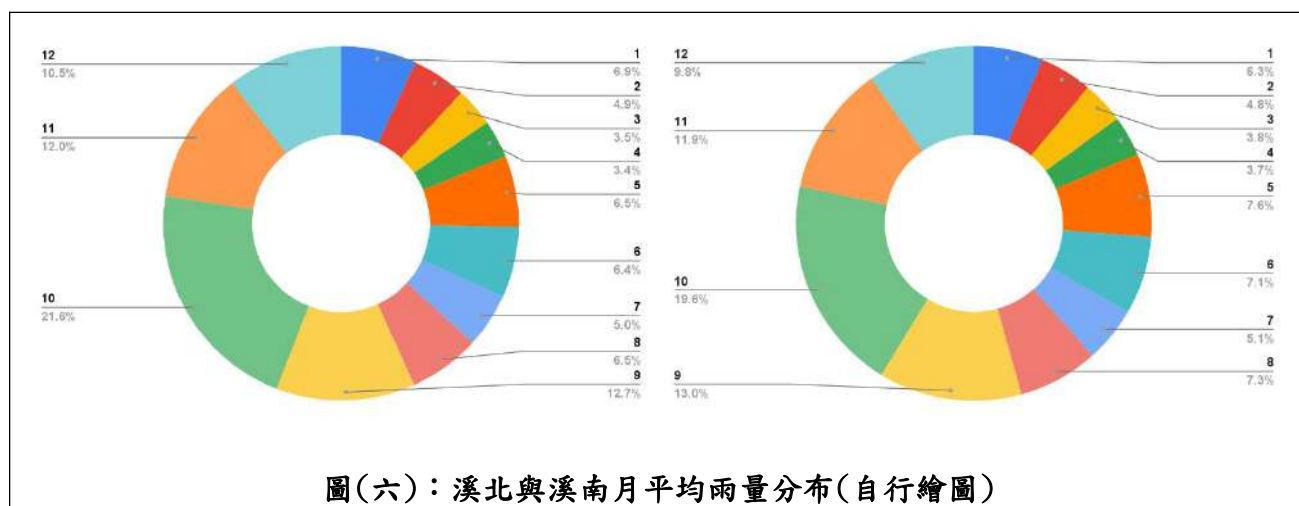


圖(四)：宜蘭各降雨分區 2003~2022 年年雨量變化趨勢(自行繪圖)

宜蘭地區各月份降雨量分布分析發現(圖五)：在大多數月份中溪南及溪北雨量皆相近甚至溪北大於溪南，但在秋冬季時，溪南雨量遠超過溪北，且在圓餅圖（圖六）當中我們可以看出無論溪南溪北年雨量占比皆為9~12月份最高。而從降雨的分布月份發現：宜蘭平原通常在5月份有一梅雨降雨高峰，另一降雨高峰8~9月的颱風雨，而10月份降雨高峰可能涵蓋了秋季颱風雨與東北季風降雨。因此宜蘭平原豪雨等級降雨事件絕大部分與秋冬季的東北季風與東北季風共伴成因有關。

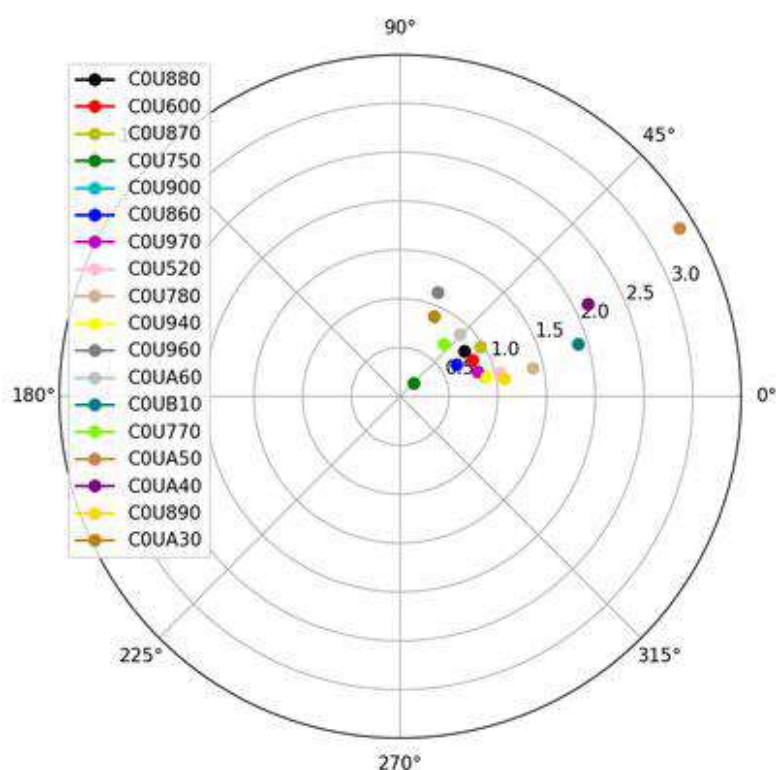


圖(五)：溪北及溪南 2003~2022 月平均雨量折線圖(自行繪圖)



圖(六)：溪北與溪南月平均雨量分布(自行繪圖)

(二)宜蘭地區各測站雨量差異性分析：



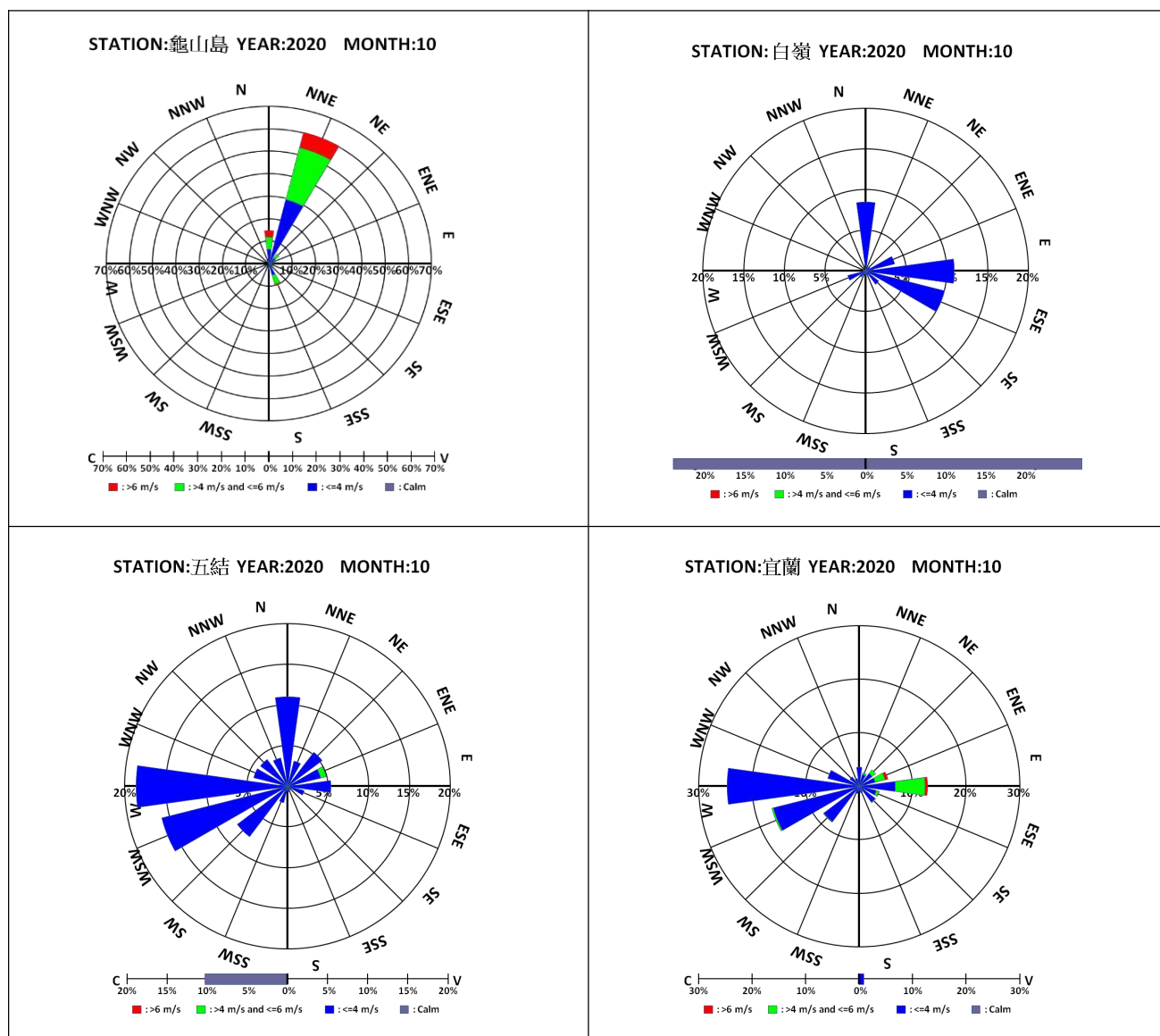
圖(七)：宜蘭地區各測站雨量泰勒圖(自行繪圖)

上圖為各行政區雨量資料以宜蘭測站標準化後繪製而成，圖中大多是資料點都集中在標準差 0.5 ~ 1.0 及角度 0° ~ 45° 之間，另外也有些數據點不再此範圍中。

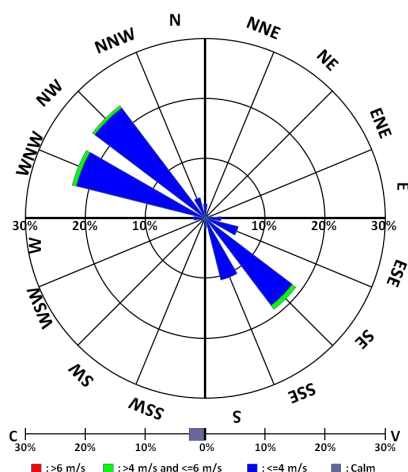
測站	標準差	相關係數	方均根誤差	意義
COUA50 (西帽山)	3.4	0.76	2.5	1、此四個測站相關係數接近 1，方均根誤差較大，代表宜蘭測站雨量上升時四個測站同時也在上升，但四個測站上升幅度較宜蘭測站大。 2、其中發現平原中的五結測站，雨量上升幅度比同為平原中的其他測站來的大，特別於後文中提出討論。
COUA40 (西德山)	2.1	0.76	1.4	
COUB10 (蘇澳)	1.9	0.95	1	
COU780 (五結)	1.4	0.90	0.5	
COU750 (龜山島)	0.2	0.68	1	龜山島雨量沒有劇烈變動。
COU960 (翠峰湖)	1.1	0.32	1.3	此二測站相關係數較小，宜蘭測站雨量發生變化時這兩個測站無明顯變化。
COUA30 (白嶺)	0.91	0.39	1	

二、宜蘭地區三維風場建立

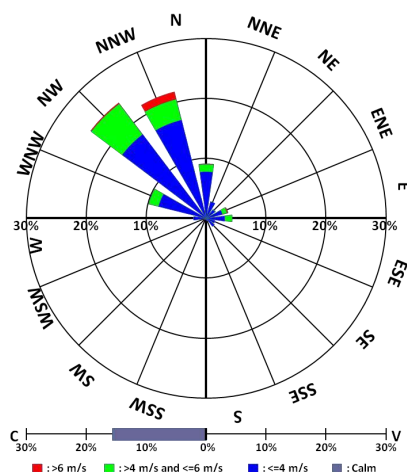
(一)地面風場風花圖分析(表一)：利用龜山島測站所得風向推知，東北季風吹入宜蘭平原前，風速平均約每秒4~6公尺，風向為北北東風為主。位於平原北邊雪山山脈山區的大礁溪與靠近平原內側的礁溪測站，風向以北風至東北風為主，風速小於每秒4公尺。位於三角形狀的平原西側頂點三星測站、平原內的宜蘭市、鄰近海邊五結風向均以西風為主，風速小於每秒4公尺。平原南邊中央山脈山區西帽山測站，風向以西北風至西北西風為主，風速主要小於每秒6公尺。中央山脈背風測南澳地區，主要吹較強的西北風，風速可達每秒6公尺。



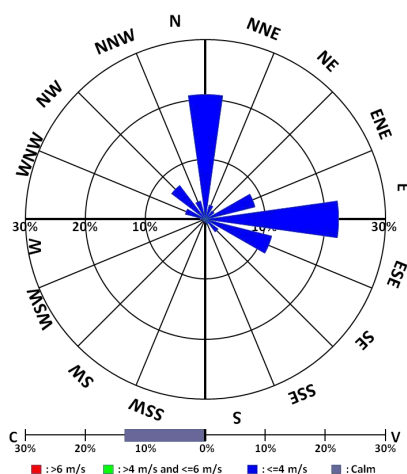
STATION:西帽山 YEAR:2020 MONTH:10



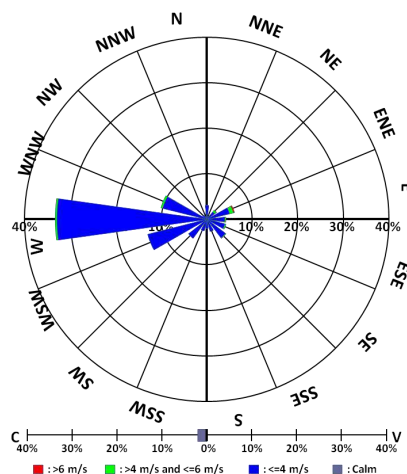
STATION:南澳 YEAR:2020 MONTH:10



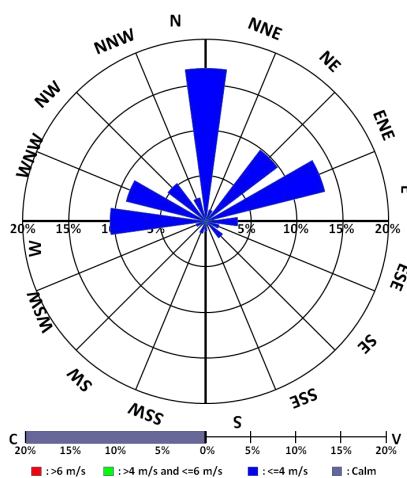
STATION:大礁溪 YEAR:2020 MONTH:10



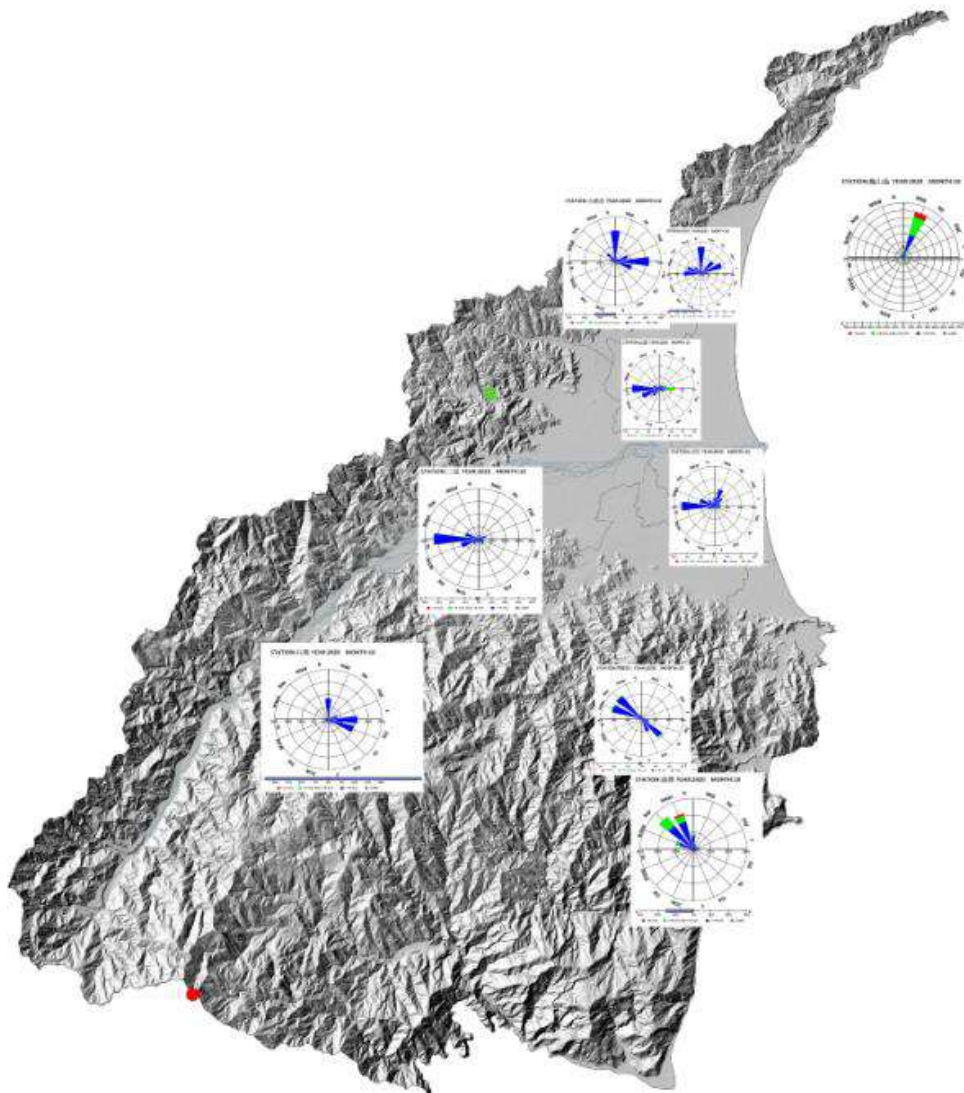
STATION:三星 YEAR:2020 MONTH:10



STATION:礁溪 YEAR:2020 MONTH:10

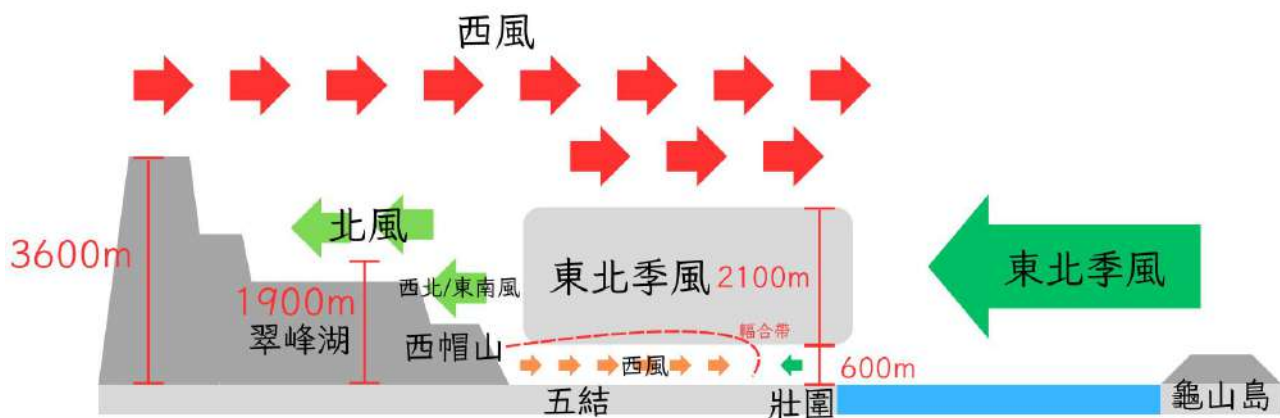


表一：宜蘭地區測站風花圖(自行繪圖)

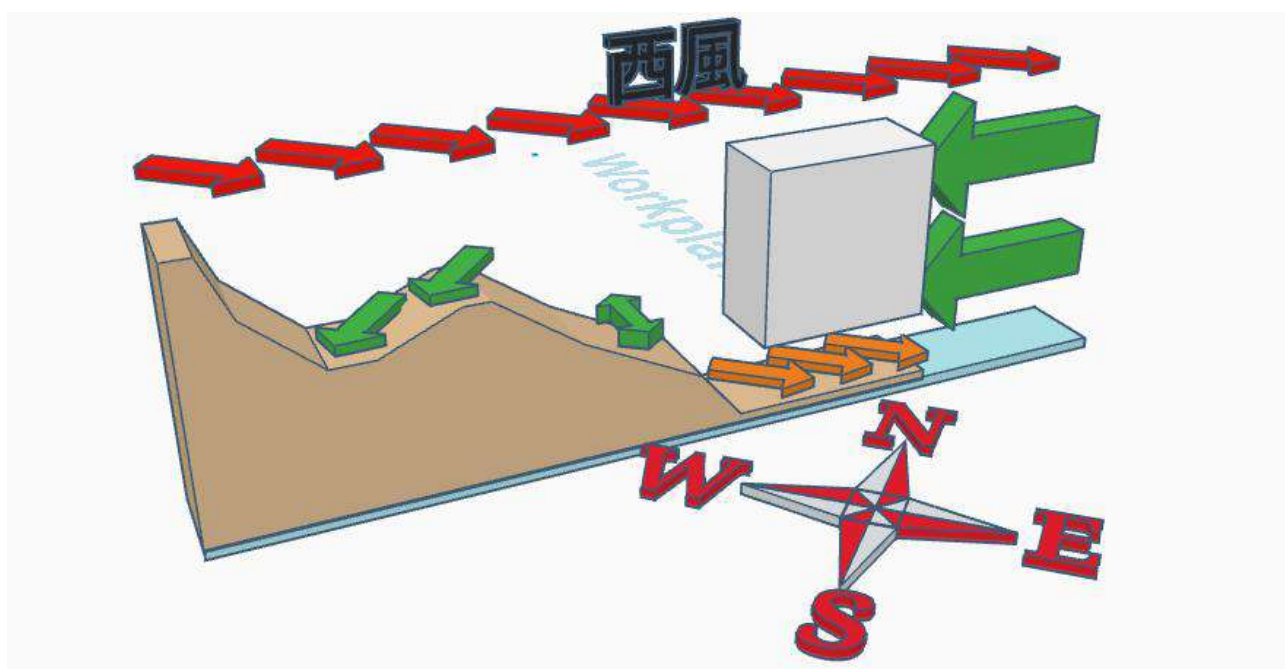


圖(八)：宜蘭地區地面風場分布圖(自行繪圖)

(二)宜蘭平原上空大氣觀測資料缺乏，透過 2020 年宜蘭劇烈降雨實驗，於東北季風期間於宜蘭地區施放探空氣球所取得的高空資料，可以初步得到平原內近地面約 600 公尺內吹西風，從海洋吹入平原的東北季風厚度約 2100m，高度位於 600~2700m 處。3000 公尺以上的高空則吹西風。利用此高空資料與山區與平原內部地面測站風場，建立了東北季風期間於宜蘭地區地面與高空三維風場。



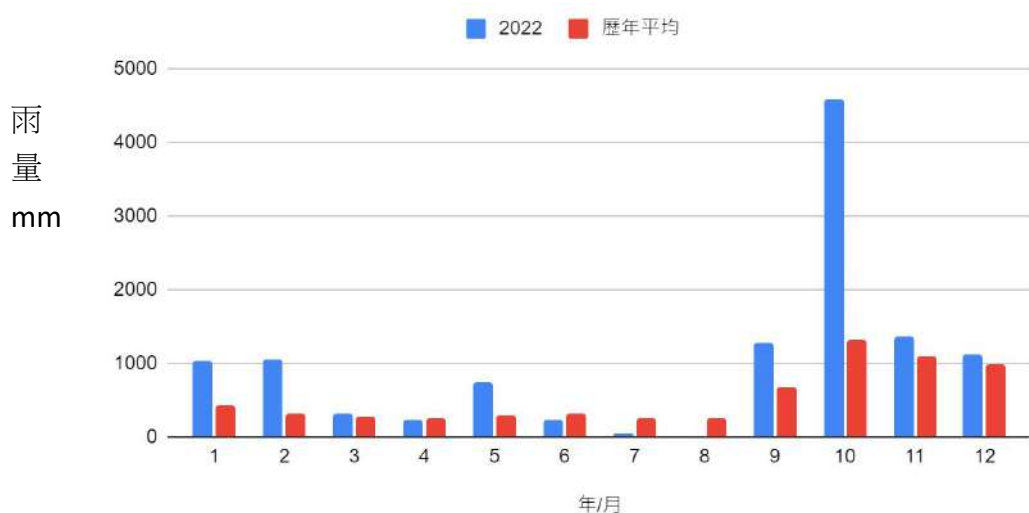
圖(九)：宜蘭地區地面與高空風場示意圖（南湖圈谷—五結—龜山島）（自行繪圖）



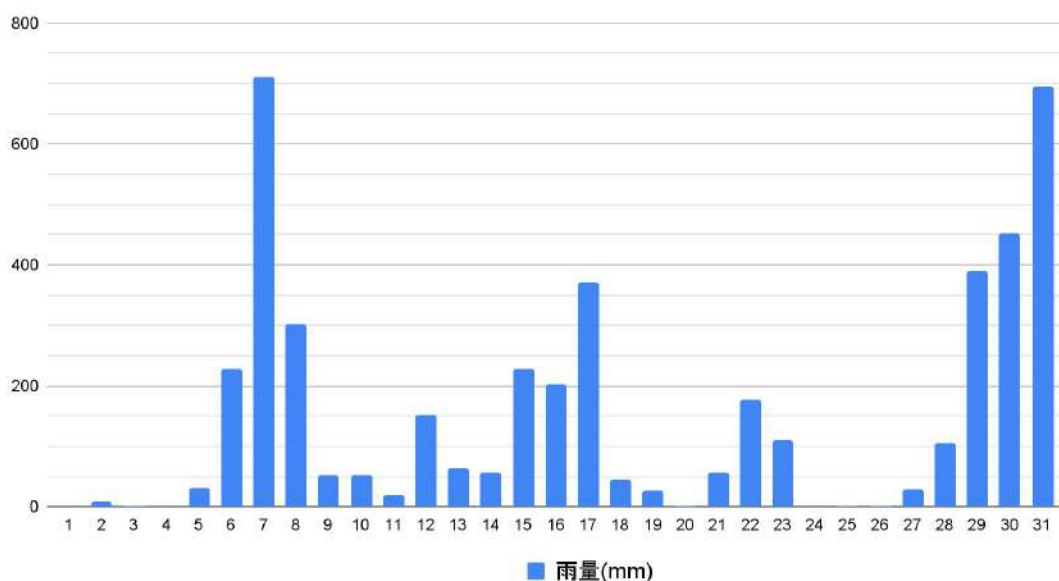
圖(十)：宜蘭地區風場剖面立體圖（自行繪圖）

三、2022 年 10 月西帽山測站超大豪雨事件探討

西帽山位於宜蘭平原三角畚箕地形的東南側山區，年平均雨量達 7000 毫米以上，為本研究區域降雨最多的地區。2022 年 10 月，單月雨量達 4,574 毫米，全年雨量高 12,027 毫米，創了自動氣象測站雨量觀測紀錄。進一步分析此區域雨量逐月變化發現，該年七、八兩月無任何颱風雨，以及太平洋高壓勢力較強西伸，宜蘭山區不易發展對流降雨。秋冬兩個季節(9~2 月)是此區域強降雨發生的月份(圖十一)。



圖(十一)：西帽山 2022 年月累積雨量分布與歷年平均比較圖(自行繪圖)



圖(十二)：西帽山 2022 年 10 月雨量分布(自行繪圖)

進一步分析 2022 年 10 月的日降雨量(圖十二)發現，雨量來源主要是秋季的颱風與東北季風共伴作用、冬季的低層東北季風和地形作用的西南風迴流輻合所產生劇烈降雨

(一)地形迴流與東北季風輻合作用

1、10 月 5 日至 14 日，10 月 18 日至 19 日：東北季風增強，導致宜蘭降雨量變多。

(二)颱風與東北季風共伴作用

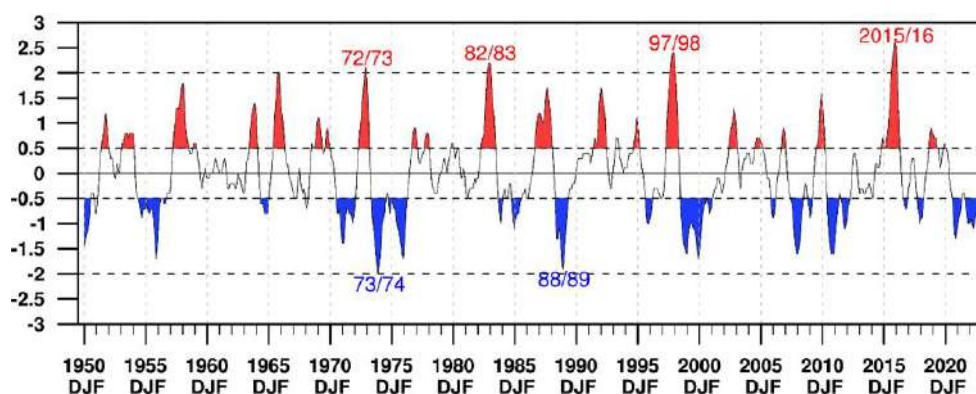
1、10 月 15 日至 17 日：15 日尼莎颱風經過台灣南部時，與台灣北方的東北季風產生共伴效應，產生一滯留鋒位於台灣北方，造成台灣地區被雲層籠罩，其中又以中央山脈測站為迎風面，且西帽山測站位於口袋地形末端，地形作用旺盛，造成大雨。

2、10 月 21 日至 23 日熱帶性低氣壓外圍雲系

3、10 月 29 日至 31 日格颱風經過台灣南部時，與台灣北方的東北季風產生共伴效應，導致的降雨

(三)反聖嬰年的影響

中央山脈迎風面區域雨量從2016年至2022年間，年平均雨量升高趨勢明顯(圖四)。以2022年為例，兩次颱風通過南部，雖未直接登陸，但與北方的鋒面與東北季風等天氣系統對於此區域所產生的降雨是最主要原因。林淑芬(107)根據19822-2016年期間的秋季(9-11月份)豪雨紀錄，研究指出颱風落 $15-23^{\circ}\text{N}$ ， $108-124^{\circ}\text{E}$ 之間的範圍，在宜蘭地區常受共伴豪雨襲擊。另透過共伴豪雨紀錄與熱帶太平洋Nino 3.4區域海洋聖嬰指標(ONI)的比對，證實在反聖嬰現象發生時的秋季，宜蘭地區往往因為發生共伴效應而降下豪雨。對應本研究2016~2022年的雨量增多與豪雨次數增多，應與2016~2022年的反聖嬰有關(圖十三)。

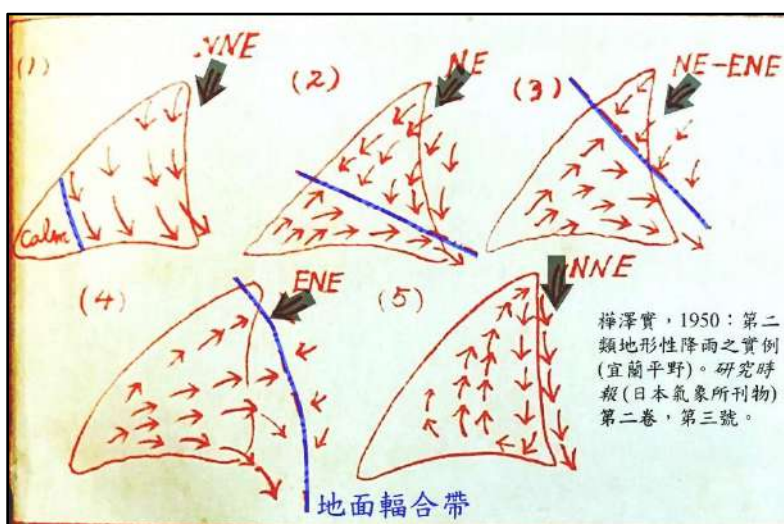


圖(十三)：1951 年至 2022 年的海洋聖嬰指標時序圖(資料來源：中央氣象署氣候年報)

陸、討論

一、地形迴流西風輻合作用

在宜蘭地區雨量分區(圖四)分析中發現，山區雨量高於平原內部的雨量，但位於蘭陽溪以南平原內五結測站則呈現雨量異常增多現象。樺澤實(1950)研究中指出宜蘭平原冬季雨量分布呈現由山區往海方向呈現增多的趨勢，與一般地形迎風面降雨不同，稱之為「第二類地形降雨」。另外研究也進一步指出，在不同的大尺度東北季風場進入宜蘭平原會產生西風的迴流分量，並與東北風產生了不同位置的輻合舉升作用，造成了劇烈降雨。但早期觀測資料有限，樺澤實研究中說明宜蘭地區雨量有山區往沿海遞增現象，與本研究發現平原中的羅東、五結測站雨量的確有往沿海增多趨勢，但平原西北側與東南側山區的雨量還是大於平原內部的雨量。因此本研究針對東北季風風場與輻合降雨位置的關係，進一步討論五結測站雨量增多的效應：

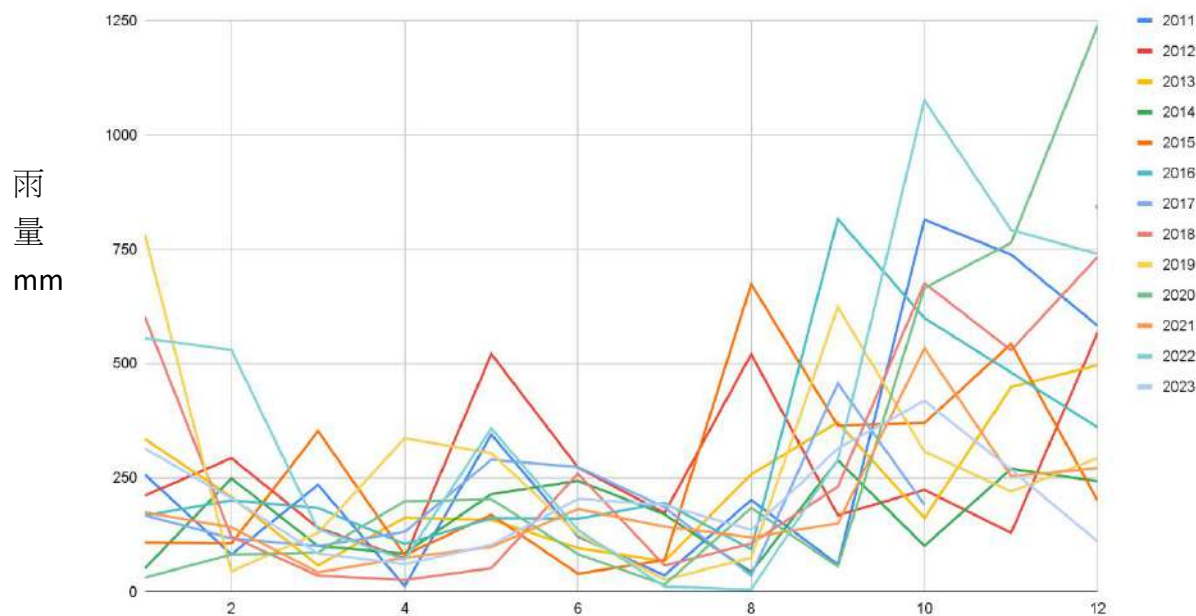


圖(十四)：樺澤實(1950)第二類地形性降雨概念模式圖

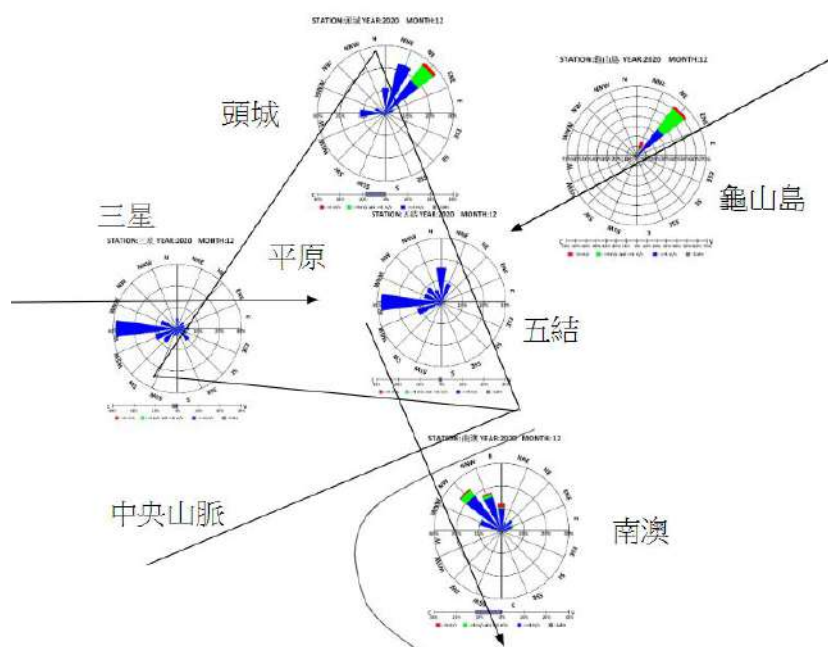
(一)大尺度風場為東北風：平原中五結測站年雨量落在 3000~4000 (mm)，風場主要為小於每秒 4 公尺的西風。與平原中其他測站相比較，明顯偏多(圖七)。進一步探討平原東側靠海的五結測站雨量增多的原因，一開始假設是西風的陸風環流與東北季風的輻合有關，但分析海陸風(去除午後雷陣雨、颱風雨及鋒面雨)的下雨時數和降雨量來驗證此觀點，結果海風及陸風的降雨時數接近 1 : 1 且吹陸風(偏西風)時雨量偏少。

製作了五結從 2011 到 2023 年的月雨量變化趨勢(圖十五)，發現在 2020 年的十二月雨量

最多，於是我們挑選出此月的風向與雨量進行分析。從風花圖及風羽圖的風場分析中，發現冬季時大環境吹東北風時，地形所產生的西風迴流與低層東北季風於將會輻合於平原東南側，包括了此區域，導致五結測站降雨量比其他平原測站多。



圖(十五)：五結測站 2011~2023 逐月雨量變化(自行繪圖)

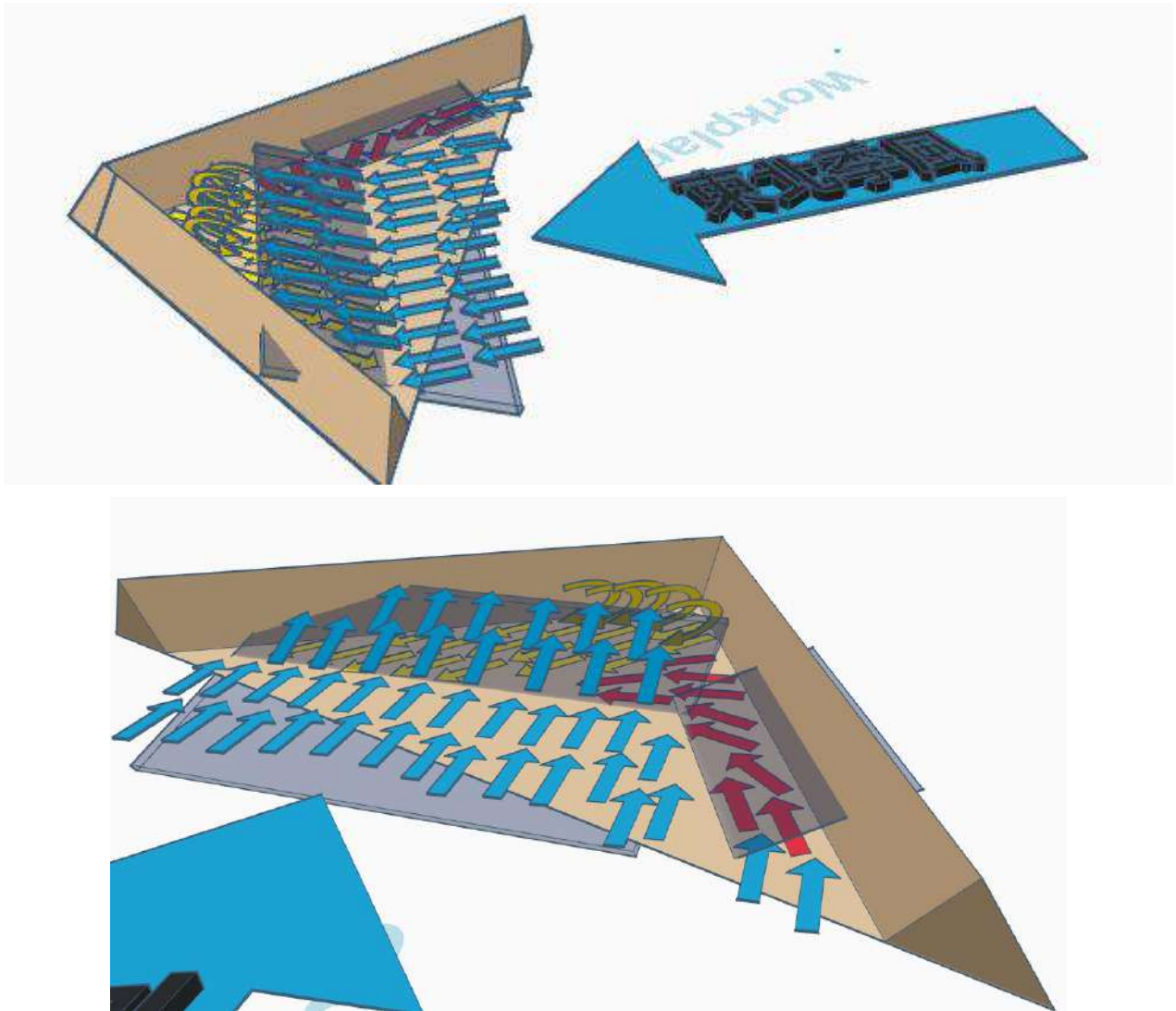


圖(十六)：地面輻合區域示意圖(自行繪圖)

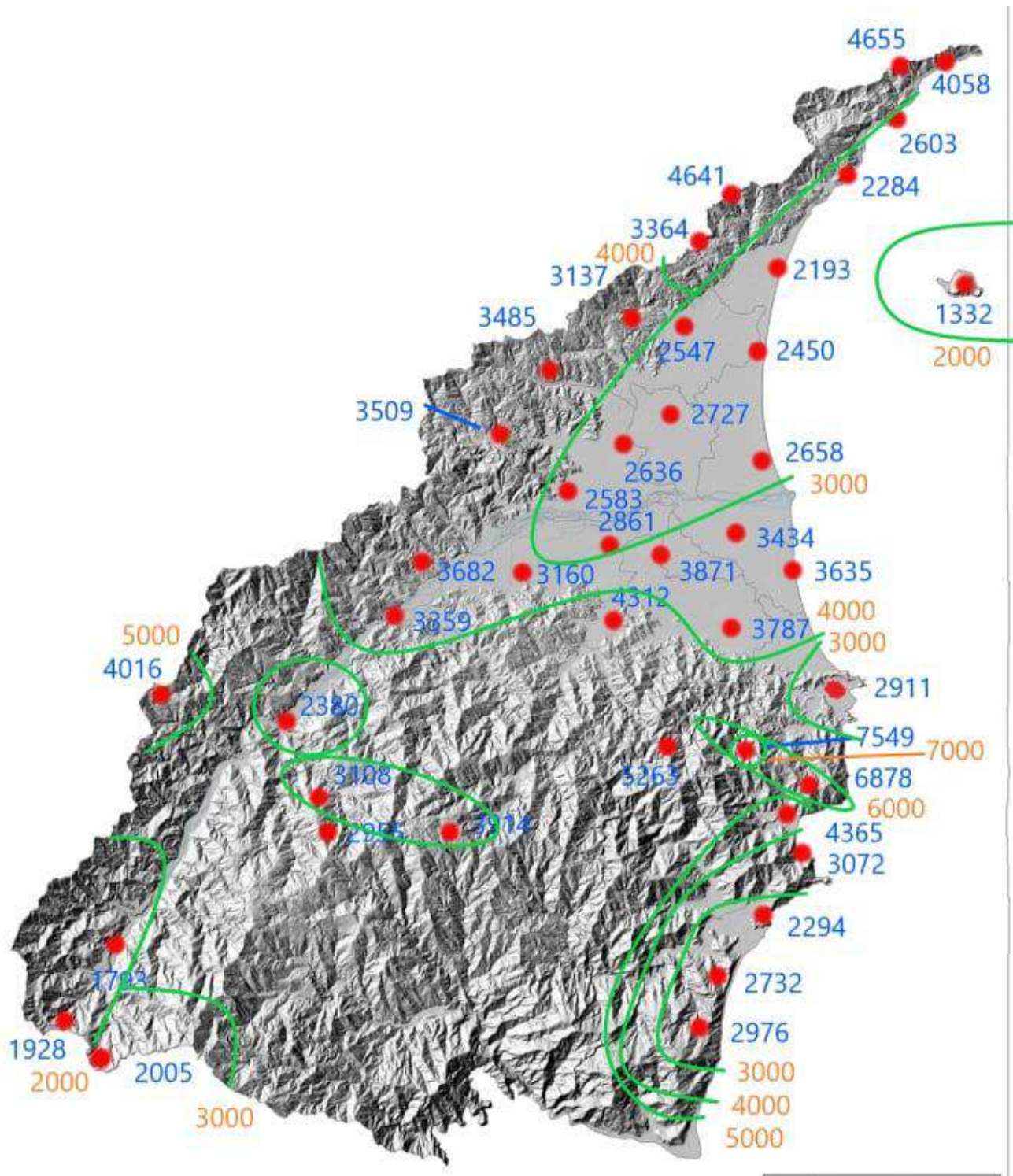
(二)大尺度風場為較強的北北東風：在雪山山脈的地形阻擋效應之下，大礁溪與礁溪測站風向為北風為主(表一風場分析所示)，無明顯的地面輻合帶，平原內部無明顯降雨。另外特別檢視

了平原頂點的三星及內城地區雨量增多現象與偏北風向有高度相關，思源隘口區域測站所觀測到之靜風站種比例 50%。

(三)風場繞行模型：由上述的資料我們做出了宜蘭平原內之東北季風繞行模型，根據我們所做的研究，東北季風除了在溪南地區會與西風產生幅合帶造成劇烈降雨外，也會在西面山區產生較小幅合面使雪山山脈山區雨量較多。



風場繞行模型(自行繪製)



宜蘭區域年雨量等值線圖(自行繪製)

柒、結論

- 一、地形與大尺度東北季風交互作用下，宜蘭地區降雨分為五個分區，年雨量排序如下：中央山脈迎風面（4000~5000mm）>雪山山脈山區（約 3500mm）>平原內部（2500~3200mm）>中央山脈背風側（約 2700mm）>無地形作用（約 1200mm）。
- 二、宜蘭地區的年雨量分布大致呈現以蘭陽溪河谷為分界線，溪南冬季雨量大於溪北，溪南中央山脈山區的西帽山及西德山為降雨熱區。
- 三、中央山脈迎風面雨量逐年上升，其背風面雨量則逐年呈現下降趨勢。
- 四、宜蘭地區垂直風場呈現平原內近地面約 600 公尺內吹西風，大尺度東北季風厚度約 2100m，位於高度 600~2700m 處，平原上空 3000 公尺以上的高空則吹較強的西風。
- 五、2022 年 10 月西帽山超大豪雨事件主要由颱風與東北季風共伴、東北季風與平原內西風迴流輻合兩種降雨機制作用造成。
- 六、大尺度東北季風風向影響了地面輻合帶的位置。平原區內五結測站，主要因大尺度東北風與西風迴流所產生的輻合降雨，雨量相較於其他平原地區更多。

捌、參考資料及其他

樺澤實，第2種地形性降雨の實例について，(1950)，氣象庁研究時報，第二卷，第三號，p65-69

陳盈曄，2000：宜蘭地區秋冬季降雨特性之研究。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。

吳若瑜，(2023)：東北季風環境下宜蘭冬季降雨特徵之地形效應。國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文

林淑芬(2018) 宜蘭地區秋季共伴豪雨與聖嬰-南方震盪的遙相關。大氣科學，第四十六期，第一號

吳政忠、呂芳川、陳文定、趙尊憲、莊漢明，2006，東北季風時期台灣鄰近海域風場預報之研究，氣象學報，第四十六卷，第二期

CODIS 氣候資料服務系統 <https://codis.cwa.gov.tw/>

日本氣象廳氣候資料 <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>

巨量空間資訊系統 <https://gis.ardswc.gov.tw/themes/disaster/38>

宜蘭地形等高圖 <https://reurl.cc/ork4lg>

【評語】180003

本研究利用中央氣象署 2003 年至 2022 年在宜蘭地區的地面測站雨量及風場觀測資料，分別在蘭陽溪以北與以南的平原與山區各選取十個測站進行分析，探討宜蘭地區三維風場及因特殊地形作用所產生的雨量分布及變化。

工作量多且複雜，對分區之降雨變化有深入之分析，但結論較少創新之觀點，流場之變化頗多是推論，可以加強觀測或分析場之驗證。