

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 地球科學科

第二名

(鄉土)教材獎

030505

「濃」情「雨」意\_ 濃積雲與大埔里地區午後雷  
陣雨之探討

學校名稱： 南投縣立宏仁國民中學

作者：  國二 林雨萱  國二 馮靜妘	指導老師：  蔡永巳  喬緯中
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞： 濃積雲、午後雷陣雨、熱對流

## 摘要

我們依雨量多寡將大埔里地區午後雷陣雨分作 I 型(達大雨標準)、II 型( $10\text{mm}<\text{雨量}<\text{大雨}$ )、III 型(雨量 $<10\text{mm}$ )，研究成果如下：(1)導致三種降雨類型的熱對流形態並不相同。(2)因風場的不同熱對流可能發生滯留或「堆疊」現象。(3)若濃積雲穩定快速發展，則午後雷陣雨會來得比較早。(4)可由氣溫的反轉(下降)點來判斷厚濃積雲發展情況。(5)降雨前氣溫愈高且維持愈久，愈可能帶來較大的雨勢。(6)濃積雲-RVD 或強熱對流的包夾作用預測下雨的成效非常好。(7)可藉由觀察第三象限濃積雲-RVD 發展情況來判斷埔里是否會發生午後雷陣雨。(8)可由淺山帶熱對流「集-水黃金三角」來預估核心區是否會發生劇烈降雨。

## 壹、研究動機

人們只知道埔里好山好水，卻不曉得埔里的天空也有好風景：變化多端的春雲，熱情猛烈的夏雲，淡雅怡人的秋雲，還有那總喜歡把雲朵撒滿天空的冬雲。此外，你不時也會看到猶如仙氣縹緲般，從巒峰間飛淌而下的雲瀑；或者偶聚山谷，濤湧詭譎的雲海。雨後，氤氳流嵐彷彿潑墨山水，而高掛山頭的虹霓卻抹下豔麗的虹彩。毫無疑問，這一切美景都是「雲」的傑作。從小以來，雲就是我最好的伙伴之一，三不五時總喜歡仰望天空，看著悠然自得的雲朵，神遊於太虛之間。當然有時也會抒發天馬行空的想像力，把雲想作一隻魚、一個玩偶，甚至是一頭可怕的怪獸。上了國中，在機緣巧合下，抱持求知欲及好奇心，報名了學校「雲」科展團隊，希望藉由這次的研究能讓我對雲有更深入的了解。

## 貳、研究目的

我們把大埔里地區的午後雷陣雨分作三個類型：(1).第 I 型：雨量達到大雨等級以上；(2).第 II 型：累積雨量大於  $10\text{mm}$ ，但未達大雨等級；(3).第 III 型：累積雨量在  $10\text{mm}$  以下。我們先對這三種類型的午後雷陣雨做初步分析，最後再做綜合性的深入探討。研究目的如下：

一、大埔里地區第 I 型、第 II 型午後雷陣雨之相關探討

二、大埔里地區第 III 型午後雷陣雨之相關探討

三、大埔里地區 I II III 型午後雷陣雨之綜合探討

## 參、研究器材與設備

一般而言，做天氣研究的首要工作就是蒐集大氣資料，之後再根據這些資料來分析探討。我們獲得資料的方式有二種：(1).透過肉眼的觀察(圖 1)：這種方式只需用到少量的器材，像太陽眼鏡、筆、紙、相機(或手機)；(2).藉由網路獲取資料：只需準備一台筆電即可從網路獲取

大量的大氣資料—我們通常會從「[中央氣象署](#)」和「[NASA 的 EOSDIS Worldview 網站](#)」下載即時的大氣資料，而「[大氣科學與應用研究資料庫](#)」所提供的龐大歷史大氣資料對之後的分析幫助很大，在此致上謝意。此外，我們也用 3D 列印製作了一個大埔里及其附近地區的立體地形模型(圖 2)，這模型可以讓我們更了解地形對大埔里地區午後雷陣雨的影響。



圖 1 我們在觀測地點進行雲況的觀察



圖 2 大埔里及其附近地區的立體地形模型

## 肆、研究過程或方法

底下針對我們的研究過程或方法做個簡單介紹：

### (一).觀雲實作(參考圖 1)

1.時間：(1).通常我們一天會做 4 次觀察，從 0800 時開始，每隔 3 小時觀察一次；(2).0800 時的觀察主要是為了配合氣象單位探空氣球的施放；(3).因為 Terra 等三顆繞極衛星分別約於 1040、1230 和 1300 時通過台灣上空，必要的話會增加這三個觀察時間點；(4).如果目標雲況(跟研究主題密切相關的雲況)出現的話，會做更密集的觀察。

2.地點：位於我們學校操場的中央。

3.雲量的計算：雲量的計算有「八分量」和「十分量」二種方式，而我們採用的是「十分量」。

4.天空的劃分：如圖 3 所示，我們把天空看作一個半球，並將此半球切成四等分—從東方開始，依逆時鐘方向將此四個區域依序稱之為第一象限、第二象限、第三象限、第四象限。為什麼要這樣子劃分呢？(1).標記雲朵的位置：我們每次觀察時都會依照這四個象限的順序拍照，而且在做文字記錄時通常也會註明雲朵所在的象限，如此，大家才會比較清楚整個天空雲況的樣貌；(2).推估天氣現象：例如在不同象限所出現的熱對流或濃積雲，對大埔里地區午後雷陣雨的影響程度是不同的，詳情請參閱 P27-28。

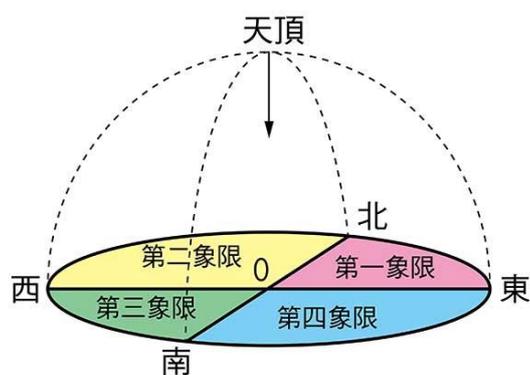


圖3 天空劃分圖

## (二).如何正確地辨別雲類

世界氣象組織(WMO)所出版的《國際雲圖集》將雲類依「雲底」高度分作四族十屬：高雲族(雲底高於 6000 公尺，包括卷雲、卷層雲、卷積雲)、中雲族(雲底在 2000~6000 公尺之間，包括高積雲、高層雲)、低雲族(雲底在 2000 公尺以下，包括雨層雲、層積雲、層雲)和直展雲族(雲底一般在下層，但雲頂則可延伸到中層或上層，包括積雲、積雨雲)。這些雲屬又可細分為主要種類、變型和附屬雲等等，種類十分繁多。

如何正確地辨別雲類對我們而言十分重要，因為我們做的是雲與天氣變化之間關聯性的研究，若雲類判斷錯誤，後面做再多的分析也失去了意義。底下簡單說明一下我們辨別雲類的方法：

1.較容易判斷的雲類：有些雲類只要從「外觀」就可以辨別得出來：例如卷雲、卷層雲、高層雲、大部分高積雲、部分層積雲、層雲、大部分積雲。

2.較難判斷的雲類：我們會嘗試以下幾種方法：(1).雲

高：①.山頭參照法：我們常用大尖山和水社山(圖 4)來區別層積雲和較低的高積雲；②.手指判斷法：我們會用這個方法來初步區別卷積雲、高積雲或層積雲—伸長手臂對準雲朵所在的位置，如果一指就可以遮住的是卷積雲，二指才可以遮住的是高積雲，

三指都遮不住的是層積雲；③.氣象署紅外線衛星雲圖：這個方法只適用於較薄的雲層，因為紅外線衛星雲圖所顯示的是「雲頂」高度，而不是「雲底」高度；④.NASA 繞極衛星的雲

頂高度圖：同樣是紅外線雲圖，但是此雲頂高度圖比氣象署的衛星雲圖解析度高很多，對於雲類的判定幫助很大，我們常用它來區別「卷層、薄高層混合雲」和「卷積、高積混合雲」；

⑤.斜溫圖：我們通常會藉由斜溫圖上的逆溫層來判斷層狀高積雲所在的高度。(2).陰影：雲層愈厚愈容易形成陰影，我們通常用這個方法來區別「卷積雲和雲塊較小的高積雲」。(3).維

持時間長短：雲類維持時間長短並不一致，有的很短，例如卷積雲，有的很長，例如濃積雲。

(4).雲底平整度：積雲的雲底通常很平整，其他雲類則不一定。



圖4 埔里附近較高的山頭

## (三).斜溫圖(SkewT-LogP 圖)的運用

斜溫圖是根據探空氣球所測得的大氣數據所繪製出來的。雖然埔里沒有施放探空氣球的氣象站，但是花蓮、新北和馬公這三個探空測站距離埔里都不遠，如圖 5 所示，符合世界氣象組織的規定(探空站以 200km 設置一站為基準)，所以它們的探空資料對埔里而言都還是很有參考價值。

一般而言，我們會以馬公探空資料為主要依據，為什麼？①.與埔里同樣位於中央山脈的西側；②.與埔里中間沒有較高大的山脈阻隔；③.大多數的時候馬公上方的風場以吹偏西風為主。此外，我們不採取 1500m 以下的資料，因為此高度以下容易受當地地形與地表特性的影響(邊界層高度通常位於 1000~3000m 之間)。

斜溫圖提供了許多有用的大氣資訊，對我們的研究很有幫助，例如：(1).**判斷雲層所在的高度**：如果當天出現的是層狀高積雲，可以根據逆溫層或強穩定層所在的位置推估雲頂高度；如果是其他雲類，也可以根據溫度和露點曲線間距(表示濕度的高低)，粗略推估雲層所在的高度。(2).**判斷大氣的穩定度**：①.由  $\Gamma_e$ (環境直減率→看溫度曲線)、 $\Gamma_d$ (乾絕熱直減率)、 $\Gamma_m$ (濕絕熱直減率)來判斷；②.由 CAPE 值(對流可用位能)的大小來判斷。

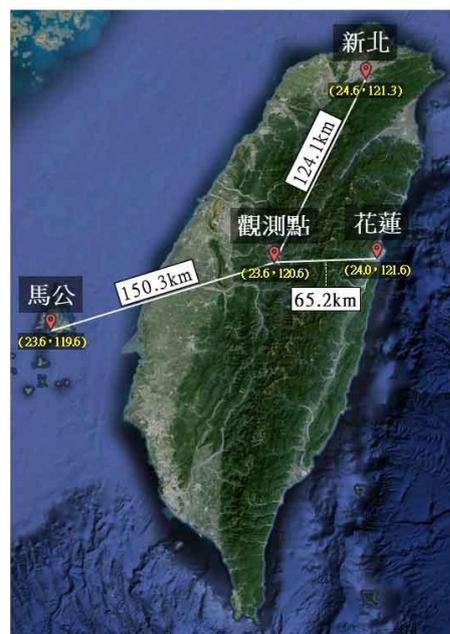


圖5 馬公、花蓮、新北測站位置圖

#### (四).濃積雲的特徵與發展

濃積雲(Cumulus congestus)屬於積雲的主要種類(註 1)之一。**午後雷陣雨大多是由積雨雲造成的，而積雨雲的前身就是濃積雲。濃積雲有二個主要特徵：(1).雲頂常發展出類似花椰菜的外形；(2).有比較大的垂直範圍。**根據《國際雲圖集》的說法，濃積雲通常發展自「中度積雲」，不過有時也可能來自堡狀高積雲或堡狀層積雲。關於濃積雲的發展，簡單說明如下：

1.LCL 和 EL 對濃積雲發展的影響：如果靠近地面的大氣處於「條件不穩定」狀態時，必須有某種「**舉升機制**」(註 2)的強迫，才能使空氣塊上升(以「**乾絕熱直減率**」方式上升)，而當此上升的空氣塊達到飽和時的高度稱之為「**舉升凝結高度**」(LCL, Lifting Condensation Level)。因為積雲都是從 LCL 這高度往上發展，所以它們的底部看起來大多十分平坦(圖 6)。其次，濃積雲的發展高度通常會由「**平衡高度**」(EL, Equilibrium Level)來決定(註 3)——此時空氣塊內的溫度已經和環境的溫度相等，無法再往上發展。所以，**在某種程度上，LCL 和 EL 決定了積雲發展的厚度(圖 6)，而這個厚度就是區分淡積雲、中度積雲和濃積雲的最主要依據。**

2.LFC 對濃積雲發展的影響：當空氣塊超過舉升凝結高度時，空氣塊內的溫度通常還是比周遭環境低，仍需要舉升機制的協助才能繼續往上升；不過隨著空氣塊的上升，空氣塊內的溫度會不斷下降(以「**濕絕熱直減率**」方式下降)，當下降到與環境溫度相同時，我們稱這個高度為「**自由對流高度**」(LFC, Level of Free Convection)——超過這個高度，空氣塊的溫度已高於周遭環境的溫度，不需要舉升機制也可以自由對流。**根據王寶貴院士的說法，積雲只要能夠到達自由對流高度，那就可以獲得周遭大氣給它的能量(CAPE 值的能量大小)。**

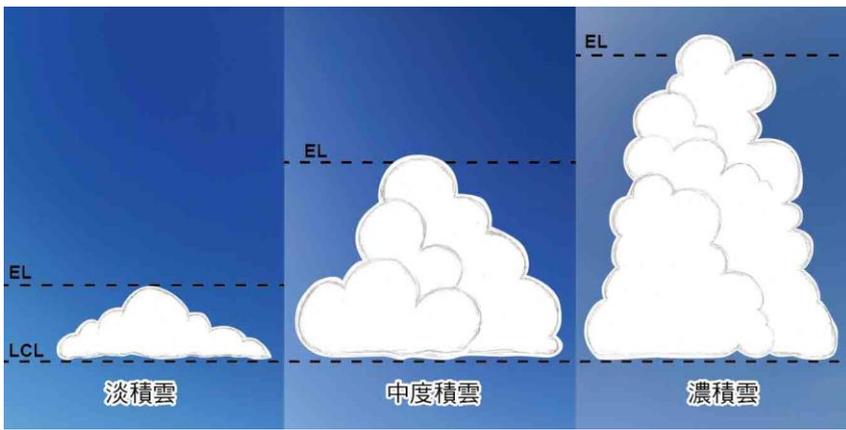


圖 6 LCL 和 EL 決定了積雲發展的厚度

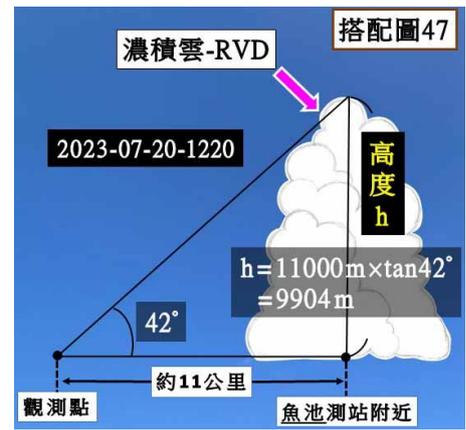


圖 7 判斷濃積雲高度示意圖

3.濃積雲-RVD：我們發現有一類型的濃積雲發展得非常旺盛，直接用肉眼就可以看出它們往上快速爆衝的樣態，而且最後都發展得十分巨大，於是為它取一個特別的名稱—「濃積雲-RVD(Rapid Vertical Development)」(註 4)(圖 47 左)。事實上濃積雲-RVD 就是強熱對流的外顯雲況，它在雷達回波上的 dBZ 值通常會大於 30。有關濃積雲-RVD 的深入探討請參閱後文。

4.濃積雲高度的判斷：我們通常會藉助 Terra、Suomi NPP 和 Aqua 這三顆繞極衛星所拍攝的雲頂高度圖來判斷濃積雲的雲頂高度。不過這三顆衛星在白天時分別只在 1040、1230 和 1300 時左右通過台灣上空，其他時段我們只能靠自己判斷了。現在舉 2023-07-20 這一天為例來說明我們常用的一種判斷方法：當天 1220 時，觀測點南方及其附近出現濃積雲-RVD(圖 47 左)一經由雷達回波圖(圖 47 右)判斷這坨濃積雲約在魚池測站附近；此濃積雲雲頂仰角約 42°，和觀測點的距離約 11 公里(可由雲頂高度圖測量出來)，再用三角函數算出雲頂高度約 9904 公尺(圖 7)，和 Suomi NPP 的雲頂高度圖(圖 8)的數據差異不大。

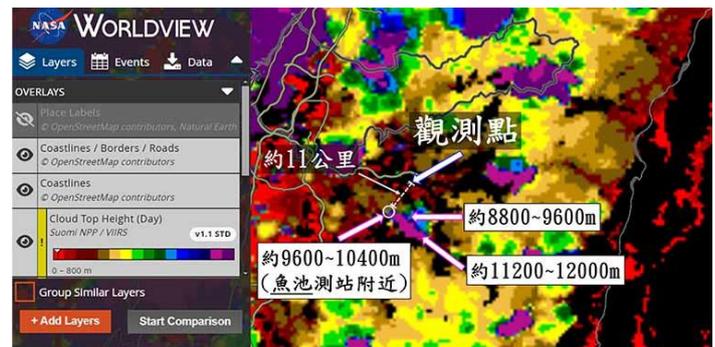


圖8 2023-07-20-1230時，Suomi NPP 衛星的雲頂高度圖

當天 1220 時，觀測點南方及其附近出現濃積雲-RVD(圖 47 左)一經由雷達回波圖(圖 47 右)判斷這坨濃積雲約在魚池測站附近；此濃積雲雲頂仰角約 42°，和觀測點的距離約 11 公里(可由雲頂高度圖測量出來)，再用三角函數算出雲頂高度約 9904 公尺(圖 7)，和 Suomi NPP 的雲頂高度圖(圖 8)的數據差異不大。

註 1：積雲的主要種類有四種：淡積雲、中度積雲、濃積雲、碎積雲。

註 2：常見的舉升機制有以下幾種：地形、地面的輻合作用、鋒面、強烈的地面加熱。

註 3：若舉升機制較弱，濃積雲的高度通常會被融化層 (melting level, 此層溫度約攝氏零度) 限制住(王嘉琪, 2014)；若舉升機制很強大，有些濃積雲可以突破自由對流高度，一直發展到平衡位置為止。

註 4：針對旺盛發展的濃積雲的命名，我們有向楊明仁教授與鄭明典前局長請教過，他們都回覆說目前學術上並沒有相對應的專有名詞，所以我們只好自己為它命名(RVD 就是在垂直方向快速發展的意思)。

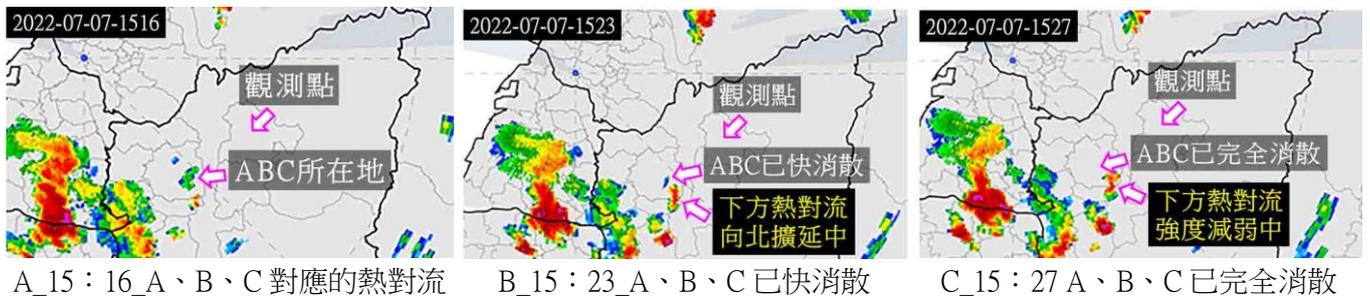
5.濃積雲發展的三階段：根據實際觀察經驗，我們把濃積雲的發展分作三個階段，現在以 2022-07-07 這一天為例來說明：(1).初生期：剛形成不久的濃積雲通常無法被降水雷達偵測到(註 5)，直到水滴夠大時才會在雷達回波圖上顯示出來—我們把在雷達回波圖顯示出來前的濃積雲稱為「初生期濃積雲」；(2).旺盛期：當濃積雲發展到其中的水滴可以被雷達偵測出來時，

就進入了「旺盛期濃積雲」(圖 9A、圖 10A)—有些旺盛期的濃積雲會發展成積雨雲；(3)衰退期：當雷達回波圖上的熱對流由強轉弱，一直到濃積雲完全消散為止，稱為「衰退期」(圖 9B、C&圖 10B、C)—在圖 9B、C 中雖然濃積雲的外觀並沒有發生很大的變化，可是我們根據「濃積雲已不再向上發展」和「雲頂變得較平坦」二點，判斷此時的濃積雲已進入衰退期。

圖 9 2022-07-07 當天 1516~1528 時的雲況\_A、B、C 為三坨濃積雲(A 照片用廣角鏡頭拍攝)



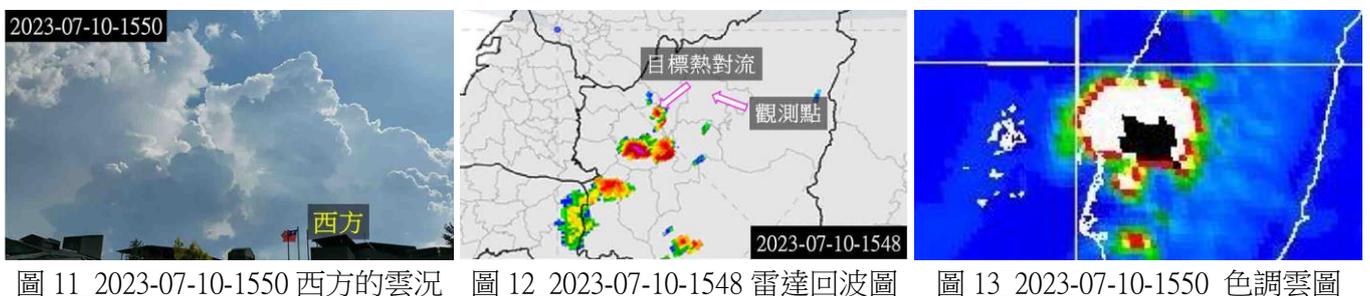
圖 10 2022-07-07 當天 1516~1527 時的雷達回波圖(A、B、C 圖\_對應圖 9)



註 5：根據《雨的科學》這本書的說法：水滴顆粒半徑超過 0.1mm 的才是雨滴(會下雨的水滴)，小於 0.1mm 的只能算是雲滴。大約 100 萬個雲滴才會形成一個雨滴。所謂的會下雨的雲，指的就是雲滴已大量轉變成雨滴的雲。降雨雷達通常偵測不到顆粒很小的雲滴，所以才會發生明明有看到濃積雲，可是回波水氣沒有顯示的情況。

### (五).熱對流的判斷

我們通常會採用雷達回波圖來判斷熱對流的發展。為什麼不採用紅外線雲圖？最主要的原因是紅外線雲圖解析度比較低。以 2023-07-10 這一天為例來說明：



當天 1550 時我們觀察到西方和西南西方有一大片濃積雲正在發展(圖 11)，並且不時傳來雷聲，推測熱對流應該十分旺盛。從雷達回波圖(圖 12)可以看出那個強熱對流位於中寮、草屯和國姓三鄉鎮交界處附近，可是從紅外線色調強化雲圖(圖 13)根本無法判斷熱對流所在之處。針對這個現象我們曾向中央氣象署的蔡匍匐先生請教過，他認為：紅外線衛星雲圖是由 3 萬 6

千公里高的同步衛星用紅外線所偵測出來的，解析度不高（在 1 公里以上），有時範圍太小的雲會看不到。

## (六).水氣與風場的判斷

水氣和風場對熱對流的發展都非常重要。王寶貴院士在「長颶風中自來往：暴風雨的秘密」這場演講中有提到：強烈風暴的必要條件之一就是充足的水氣供應—水氣若能進入對流系統中，在上升的過程中會冷凝並釋放出潛熱，這潛熱可以使對流更為加強。至於說要看什麼高度的水氣，我們有向楊明仁教授請教過，他認為：一般而言，引發熱對流的水氣以低層高度(850 百帕以下)的水氣為主。因為氣象署所提供的水氣頻道只能用來判斷中、高層水氣，對於低層水氣的判斷幫助不大，於是我們就向鄭明典前局長請教，他說可以參考大氣可降水量(TPW)。圖 14 所示為 2023-07-20 當天的 TPW，這資料來自 CIMSS 網站。

其次，關於風場的部分，我們可以由高空天氣圖獲得台灣四周 925hpa 以上高度的風向和風速資料，不過在南投境內並沒有相關的氣象圖可以參考，所以我們只好自己根據各測站的觀測資料繪製成風向、風速圖(如圖 21、24、53 所示)。至於風切(註 6)的部分，《豪雨與豪雪之氣象學》(張泉湧譯，2009)這本書的作者認為：必須要有某種程度以上的垂直風切存在，否則積雨雲將無法發展成中尺度對流系統那樣有組織化的結構，圖 15 就是垂直風切對形成新積雨雲重要性的示意圖。在後文中我們所使用的風切圖來自 NOAA 網站(如圖 27、28、54 所示)。

註 6：風切是指風向或風速在一空間中所存在的明顯變化，可以粗分為「水平風切」和「垂直風切」二種。

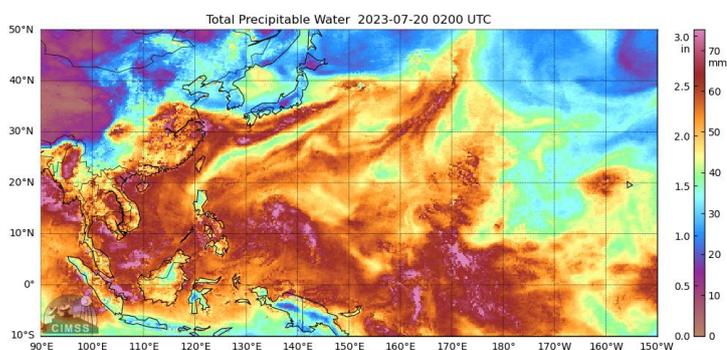


圖 14\_2023-07-20 當天 1000 時的 TPW (取自 CIMSS)

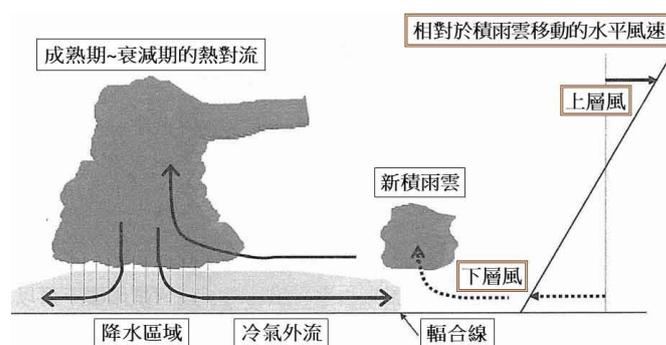


圖 15 垂直風切與新積雨雲示意圖

## (七).文獻探討與研究架構

國內關於午後雷陣雨的研究還不少，但是大多針對北部的熱對流。在研究期間我們參閱了幾十篇文獻資料，其中和我們的研究比較相關的有四篇，其摘要如下表 1 所示。第一篇是學姊的作品，主要探討濃積雲和卷雲的搭配對預測午後雷陣雨的成效。其次關於「暖季弱綜觀下台灣中部午後對流特徵研究」這篇論文，是目前我們找到唯一針對中部地區午後雷陣雨所做的學術研究。第三篇的作者是朱韻雅，文中有探討到「雷暴強降雨」，和我們研究中的第 I 型午後雷陣雨有點類似。最後一篇的作者是陳泰然教授等四人，文中有提到中部地區的地

形對午後熱對流的影響，對我們判斷南投地區的熱對流發展很有幫助。

表 1 午後雷陣雨相關文獻探討(與我們的研究相關度較高的部分以紅色字或螢光筆標示)

研究題目與作者	研究結論摘要 (有些與本研究比較不相關的部分沒有呈現出來)
題目：「濃」、「卷」、「鋒」_雲與天氣變化之探討 作者：吳念芸等 (2017)	作者嘗試在卷雲與濃積雲同時出現的前提下，利用其雲況來預測午後雷陣雨：發現若雲況符合 AL-FC 法則，則 8 小時之內一定會下雨；若再搭配 CAPE 值、風切、濕度等條件，更可以用來預測主降雨區的雨量大小。
題目：暖季弱綜觀下台灣中部午後對流特徵研究 作者：李旻恩 (2021)	(1).中層副熱帶高壓的位置會影響大氣的穩定度，若副高脊的位置越往西、往南伸展，則午後熱對流越不容易生成。(2).若位於高壓邊緣，大氣環境會比較不穩定。(3).降水熱區與向岸風遇到的地形有高度的相關性。(4).降水熱區通常會位於向岸風的下游位置。
題目：北台灣午後對流的強降雨事件發展機制 作者：朱韻雅 (2019)	(1).作者想要探究在夏季弱綜觀環境下北台灣午後雷暴強降雨(時雨量大於 40 毫米)的發生機制。(2).許多個案具有良好的熱力條件，卻不一定發生強降雨現象，可見得仍需考量更多的動力作用。(3).受到地形作用的影響，綜觀尺度下的風速及風向是決定午後熱對流位置及雨量強度的重要因素。
題目：暖季弱綜觀強迫下中北台灣午後對流的氣候特徵 作者：陳泰然等 (2009)	(1).梅雨季時(5-6 月份)：中台灣的熱對流大多會往東邊的山區移動(或發展)，只有少數會向西邊的平緩地形移動(或發展)。(2).夏季時(7-8 月份)：中台灣的熱對流大多會先往東邊山區移動(或發展)，然後再往西邊的平緩地形移動(或發展)。(3).5-8 月份，中台灣成熟期熱對流頻率的最大值通常會落在 1500LST 左右。

其次，關於研究架構的部分，如圖 16 所示。我們有三個主題，在前面二個主題中，我們先找出造成 I II III 型午後雷陣雨的熱對流形態，再分別做個案分析。最後一個主題則是把 I II III 型午後雷陣雨的個案做一個綜合分析或延伸探討。

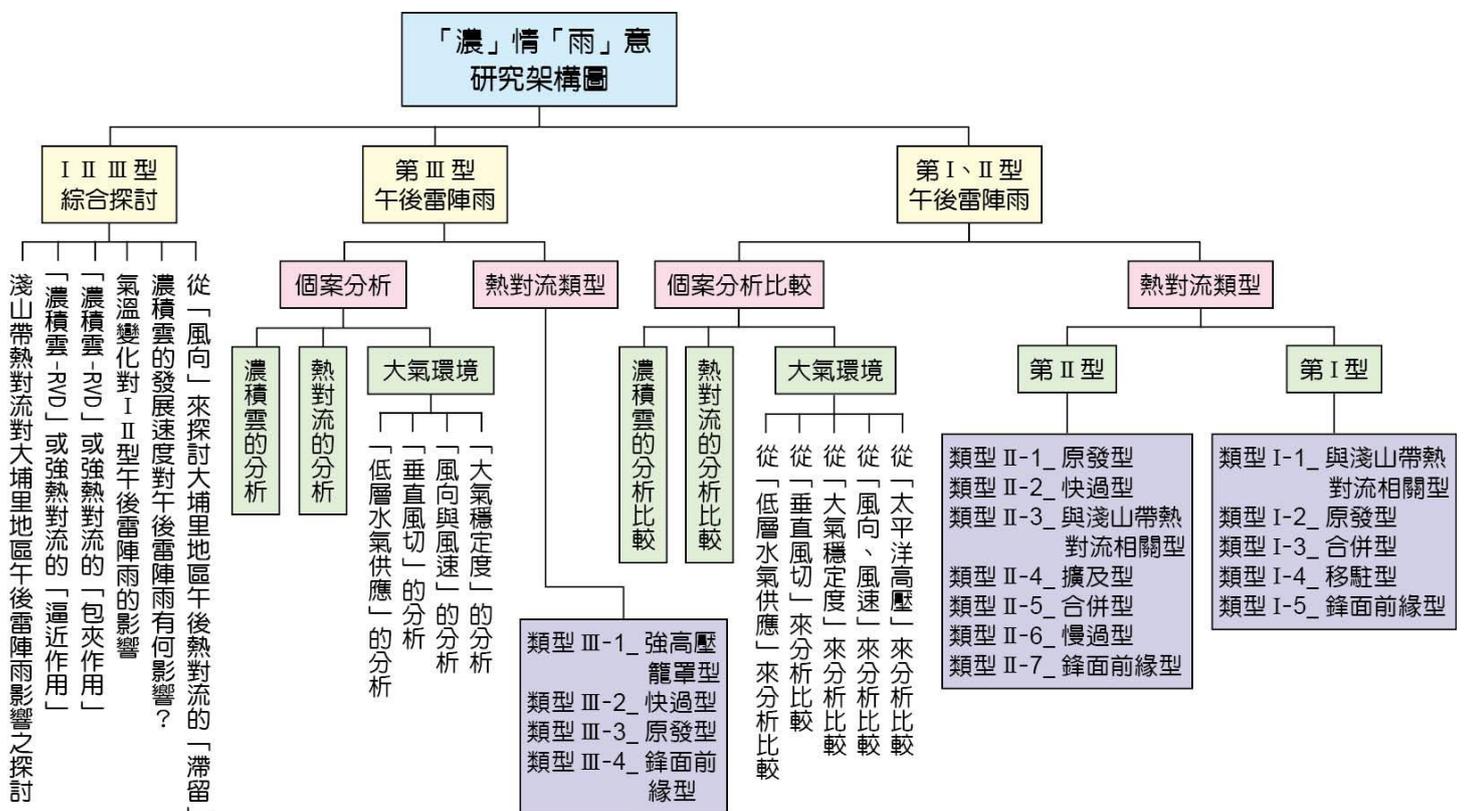


圖 16 本次研究之研究架構圖



(類型 II-7)。相關名詞請參閱右下角「**名詞解釋專欄**」(部分名詞後文會再說明)。

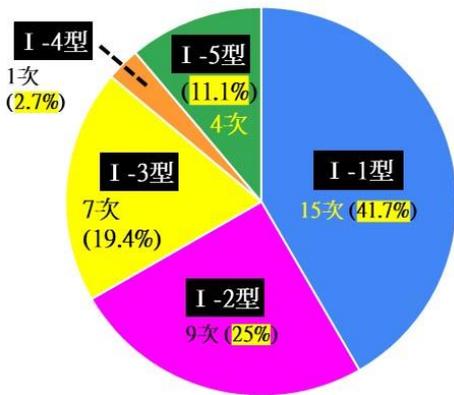


圖 18 第 I 型\_5 種熱對流形態

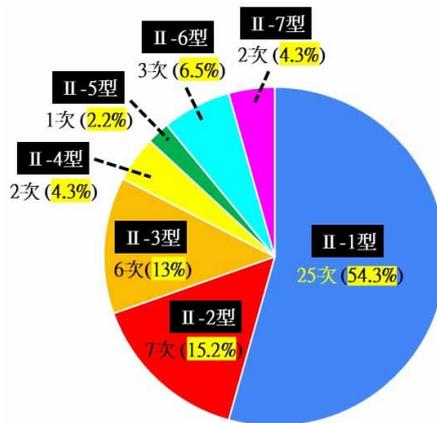


圖 19 第 II 型\_7 種熱對流形態

名詞解釋：(1).**與淺山帶熱對流相關型**：指某地熱對流的發展與淺山帶熱對流有關；(2).**原發型**：我們把某熱對流最初的發展地稱為「原生地」，在原生地所發展出來的熱對流稱為「原發型熱對流」；(3).**移駐型**：指他方熱對流移來某地，並停留一段時間；(4).**快過型**：指他方熱對流快速經過某地，並在某地發生午後雷陣雨；(5).**慢過型**：指他方熱對流緩慢經過某地，並在某地發生午後雷陣雨；(6).**擴及型**：指某地的熱對流是附近的熱對流擴大、延伸過來的。

註 7：關於弱綜觀天氣的定義我們有詢問鄭明典前局長，他的回答如下：「**沒有明顯的鋒面和高、低氣壓天氣系統影響的情況，就稱為"弱綜觀"**」。至於鋒面前緣的部分，林得恩博士認為是「**類弱綜觀**」。

## (二).個案分析比較

在第 I 型午後雷陣雨中，我們取 2023-07-20 這一天大埔里地區降雨量最多(圖 35)的**北坑測站(位於埔里，累積雨量 151mm，達豪雨等級)**做個案分析；在第 II 型午後雷陣雨中，取 2023-07-19 這一天大埔里地區降雨量最多(圖 41)的**埔里測站(累積雨量 47.5mm)**做個案分析。

### 【大氣環境的分析比較】

#### 1.從太平洋高壓來分析比較

太平洋高壓的勢力範圍要如何判定呢？我們曾向楊明仁教授請教過，他的說法如下：因為太平洋高壓為暖心高壓，越高層大氣越為明顯，如果在 500 hpa 等壓面上，我們可以用 5880 gpm 等高線的範圍當作太平洋高壓的勢力範圍。相對地，太平洋高壓在低層大氣則較不明顯，只能將在低層大氣之太平洋洋面上，大範圍(水平尺度達數千公里以上)持續存在且移動緩慢的高壓區域，定性上視為太平洋高壓的勢力範圍。

如表 2 所示，2023-07-20 和 2023-07-19 這二天不管在高空(看 500hpa 天氣圖)和低層(註 8)，太平洋高壓的分布範圍都非常類似。

表 2 2023-07-20、2023-07-19 午後雷陣雨之分析比較\_針對太平洋高壓

第 I 型 2023-07-20	第 II 型 2023-07-19
1.高空(看 500hpa)：(1).5880 等高線已伸展至江蘇-湖北-貴州-廣西一帶；(2).新北 5910、馬公 5920、花蓮 5910、屏東 5940、綠島 5910。	1.高空(看 500hpa)：(1).5880 等高線已延伸至江蘇-湖北-湖南-廣東一帶；(2).新北 5910、馬公 5920、花蓮 5920、屏東 5940、綠島 5920。
2.低層：台灣位於高壓勢力邊緣	2.低層：台灣位於高壓勢力邊緣

註 8：關於 2023-07-20 和 2023-07-19 這二天低層太平洋高壓的判斷，我們是根據氣象專家彭啟明先生的說法(取自彭先生當天的 fb)：**這二天台灣在太平洋高壓勢力邊緣的東南風環境中，大氣並不算穩定，且水氣偏多。**

## 2.從風向、風速來分析比較

由於南投沒有探空氣球的施放點，所以在低層(700~925hpa)風場部分我們主要參考馬公測站的資料(表 3、圖 22、圖 23、圖 25、圖 26)與 850hpa 高空天氣圖(圖 20)，說明如下：

表 3 2023-07-20、2023-07-19 午後雷陣雨之分析比較\_針對風向、風速

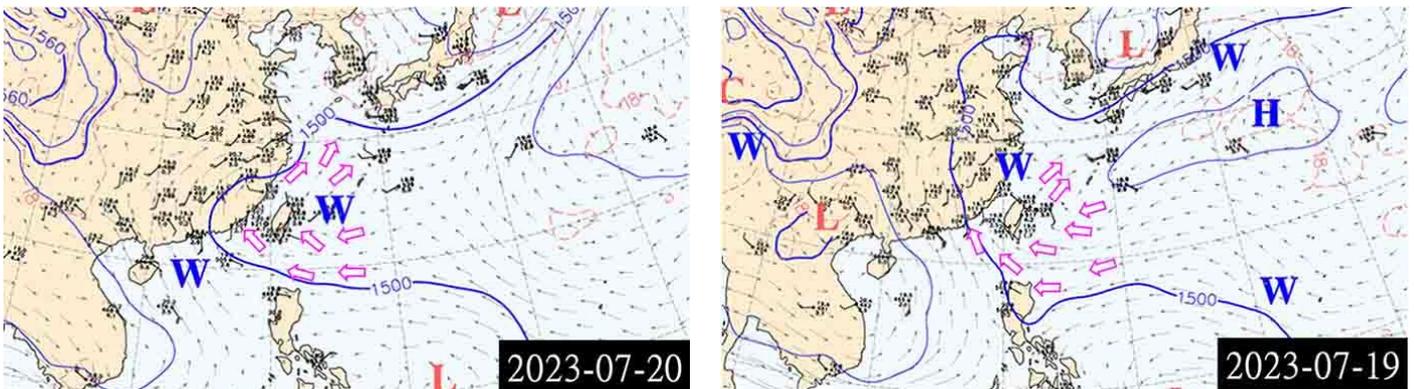
第 I 型 2023-07-20	第 II 型 2023-07-19
1.風向(馬公)：700hpa(0800，東北；2000，北北東)，850hpa(0800，無風；2000，西北西)，925hpa(0800，南南東；2000，西南)。	1.風向(馬公)：700hpa(0800，南南東；2000，無風)，850hpa(0800，東南；2000，東風)，925hpa(0800，偏南；2000，西風)。
2.風速：馬公 850hpa(0800，無風；2000，5 節)	2.風速：馬公 850hpa(0800，10 節；2000，5 節)

(1).風向：2023-07-20 和 2023-07-19 這二天的低層風向都很亂，很不一致。

(2).風速：2023-07-20 和 2023-07-19 這二天的低層風速都偏小，到下午時風速都落在 5 節左右。

其次，我們也繪製了南投的測站風場圖(圖 21、24)，由這二張圖我們發現 2023-07-20 和 2023-07-19 這二天靠近地面的風向都很不一致，而風速也大多落在 2 節以下。

圖 20 2023-07-20、2023-07-19 午後雷陣雨之分析比較\_850hpa 高空天氣圖



A\_2023-07-20 850hpa 高空天氣圖

B\_2023-07-19 850hpa 高空天氣圖

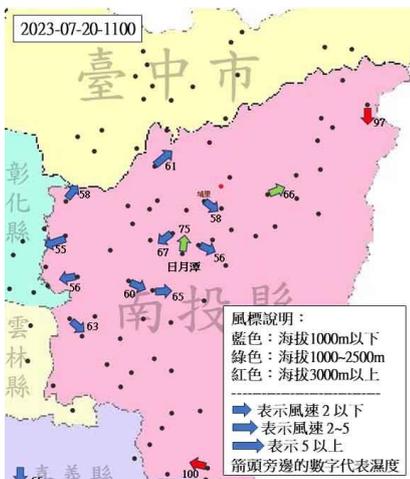


圖 21\_2023-07-20 南投測站風場圖

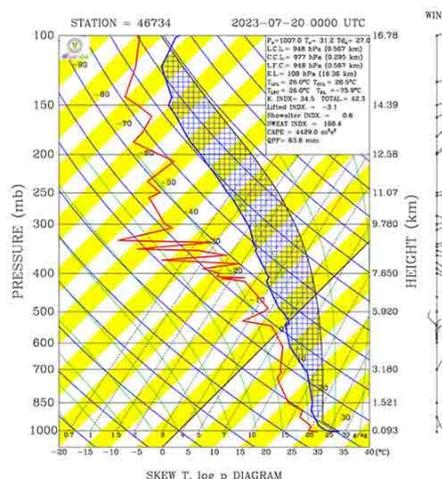


圖 22\_2023-07-20-0800 馬公斜溫圖

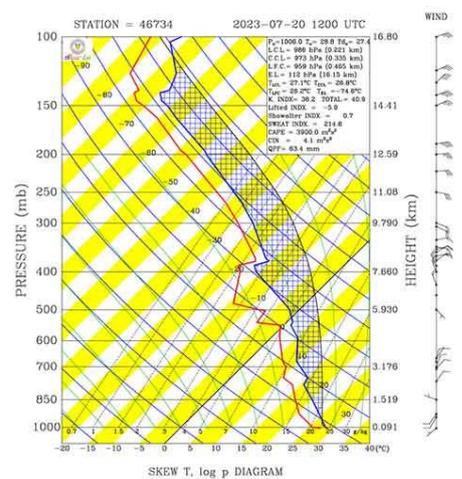


圖 23\_2023-07-20-2000 馬公斜溫圖



## 5.從低層水氣供應來分析比較

- (1).2023-07-20：參考可降水量(TPW)(圖 14、圖 29)，可知當天台灣中部水氣量只算中等，但是西岸近海有足夠多的水氣可以提供給熱對流。
- (2).2023-07-19：不管是由 CIMSS 的 TPW(圖 30)或者由 NOAA 的 TPW(圖 31)都可以看出台灣及台灣海峽的低層水氣都還滿充足的。

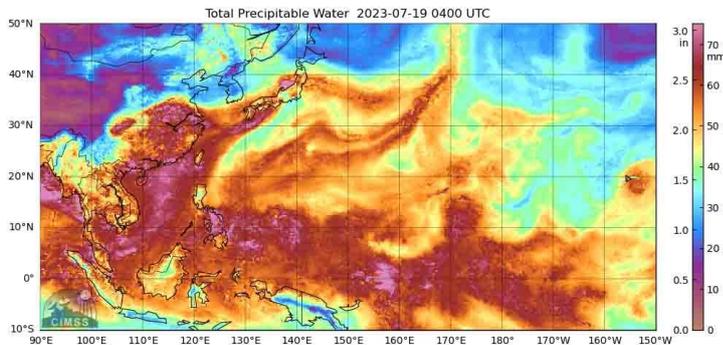


圖 30\_2023-07-19 當天 1000 時的 TPW (取自 CIMSS)

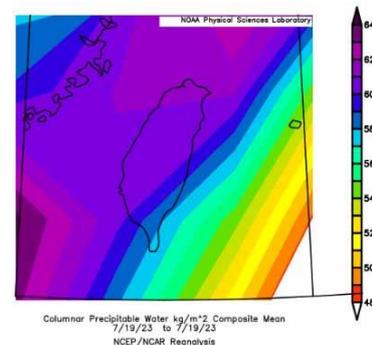


圖 31\_2023-07-19\_TPW\_取自 NOAA

### 【小結論】

2023-07-20 和 2023-07-19 所處的大氣環境十分類似：(1).都處於太平洋高壓邊緣；(2).低層風向都有點亂、風速都偏弱；(3).上方大氣都十分不穩定；(4).低層垂直風切都不大(7/20 這一天稍大一些)；(5).低層水氣供應都還算充足(7/19 這一天稍多一些)。

### 【熱對流與濃積雲的分析比較】

#### 1.熱對流的分析比較

- (1).強熱對流的滯留：①.2023-07-20：當天北坑前後共發展出三波的強熱對流，而且都滯留很長一段時間—1550~1640、1740~1830、1920~2040(圖 32)；②.2023-07-19：當天 1430 時埔里測站發展出小規模強熱對流，前後維持了約 70 分鐘(圖 33)；③.像北坑和埔里測站這種由當地(原生地)所發展出來的熱對流，我們稱之為「原發型熱對流」；④.關於熱對流的滯留，我們有做更深入的探討，請參閱 P.22-24。

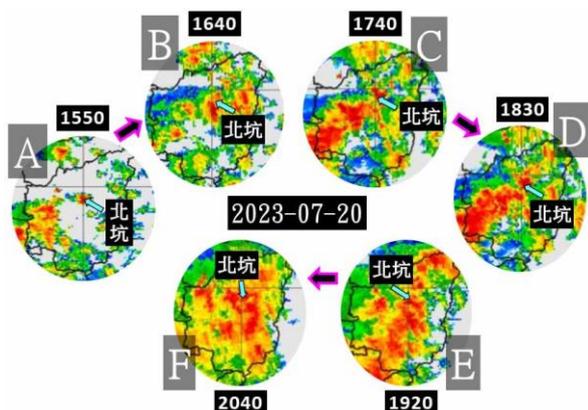


圖 32\_2023-07-20 北坑發生三波強熱對流的滯留

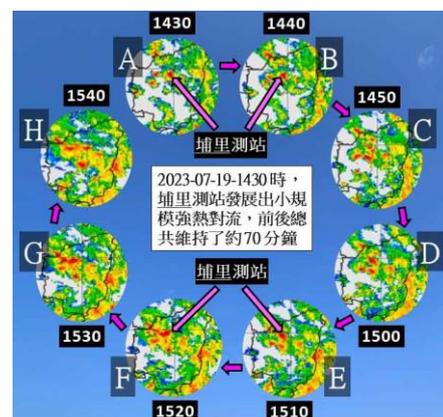


圖 33\_2023-07-19 熱對流滯留埔里測站 70 分鐘

(2).強熱對流的包夾：①.2023-07-20：北坑於 1550 時發展出**第一波強熱對流**，滯留了約 50 分鐘才減弱(圖 32A、B)；1710 時，**北坑被附近的強熱對流三面包夾**(圖 34)，結果 1740 時就發展出**第二波強熱對流**(圖 32C、圖 36)，接著電閃雷鳴，並降下傾盆大雨。②.2023-07-19 當天並沒有發生強熱對流的包夾現象。關於強熱對流的「包夾」，P.26-27 有做深入探討。

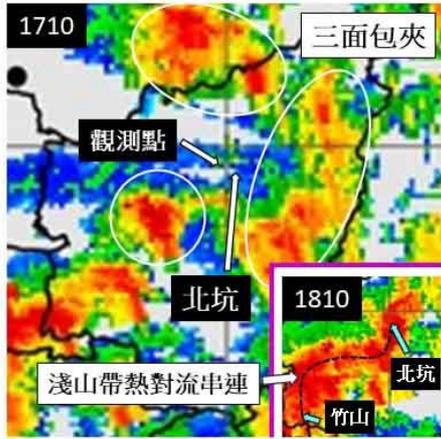


圖 34\_2023-07-20-1710 北坑被強熱對流三面包夾

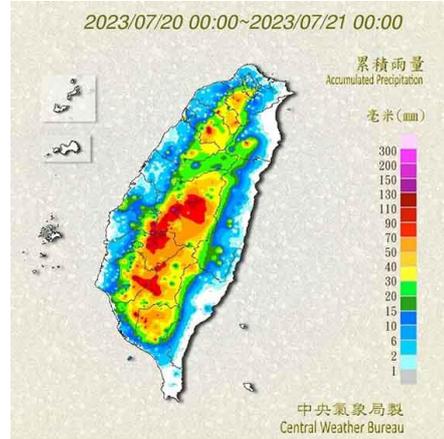


圖 35\_2023-07-20 當日累積雨量

(3).強熱對流的合併(註 10)：①.2023-07-20：1740~1810 時這期間北坑和西南方的強熱對流都不斷地增加強度並擴大勢力範圍，不出所料二個熱對流於 1810 時發生了碰觸(圖 37)，接著進行**合併**，形成一大片強熱對流(圖 38)。這次的合併維持了約 20 分鐘。因為強熱對流的合併，又再度加大了北坑的雨勢。②.2023-07-19 當天並沒有發生強熱對流的合併現象。

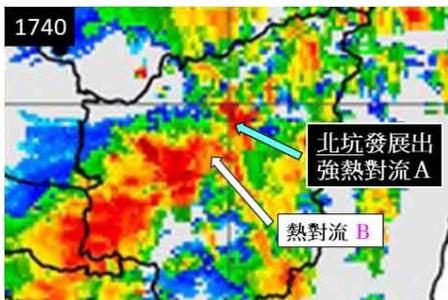


圖 36\_2023-07-20-1740 雷達回波圖

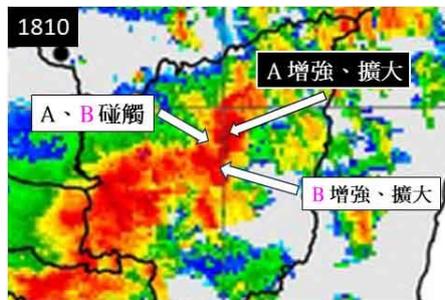


圖 37\_2023-07-20-1810 雷達回波圖

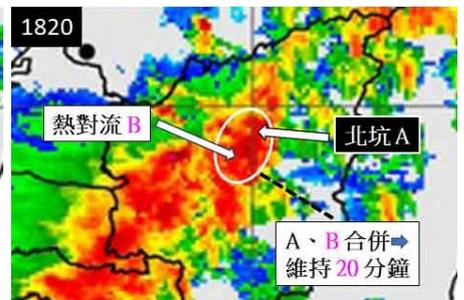


圖 38\_2023-07-20-1820 雷達回波圖

(4).強熱對流的規模與分布(圖 39、40 取當天南投熱對流最旺盛時的雷達回波)：

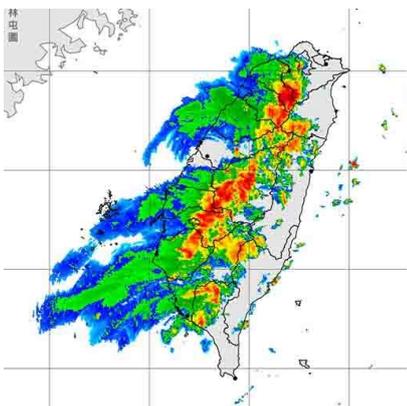


圖 39\_2023-07-20-1820 雷達回波圖

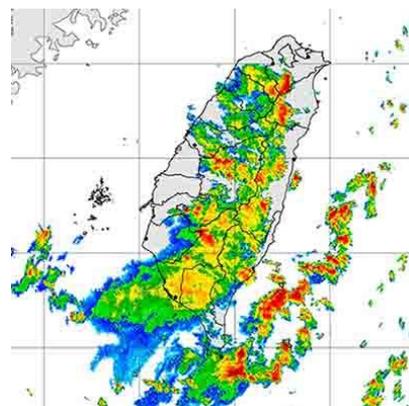


圖 40\_2023-07-19-1530 雷達回波圖

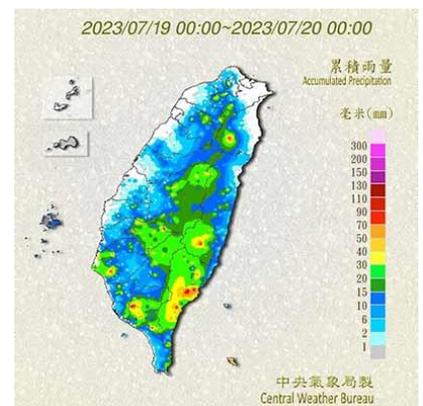


圖 41\_2023-07-19 當日累積雨量

①.2023-07-20 當天發展出二大片強熱對流(圖 39)，一個分布在中部的淺山帶(嘉義-雲林-竹山-集集-魚池-埔里)(圖 34 右下、圖 37)(圖 76-T 線)，另一個分布在新竹與桃園的山區；②.2023-07-19 當天所發展出來的強熱對流規模並不大，而且都很分散(圖 40)。

註 10：我們把他方熱對流與某地熱對流合併的情況稱為「合併型熱對流」(又細分為「擴延合併」與「移動合併」二種類型)——通常熱對流合併之後強度會增強，並帶來較大的雨勢。

## 【小結論】

2023-07-20 當天強熱對流發生了「滯留」、「包夾」、「合併」加上降雨熱點附近有大規模的強熱對流，所以才會降下驚人的雨量(當天強熱對流發展的詳細流程如圖 42 所示)；而 2023-07-19 當天是孤立型的小規模強熱對流，雖然滯留了約 70 分鐘，但是降雨量仍然有限。



圖 42\_2023-07-20 強熱對流發展流程圖

## 2.雲況(針對濃積雲)的分析比較

下表 4、5 是我們的觀雲記錄，圖 43、44 是我們在 2023-07-20 和 2023-07-19 那二天所拍攝的雲況照片。關於雲況(針對濃積雲)與當天午後雷陣雨的關係，分析如下：

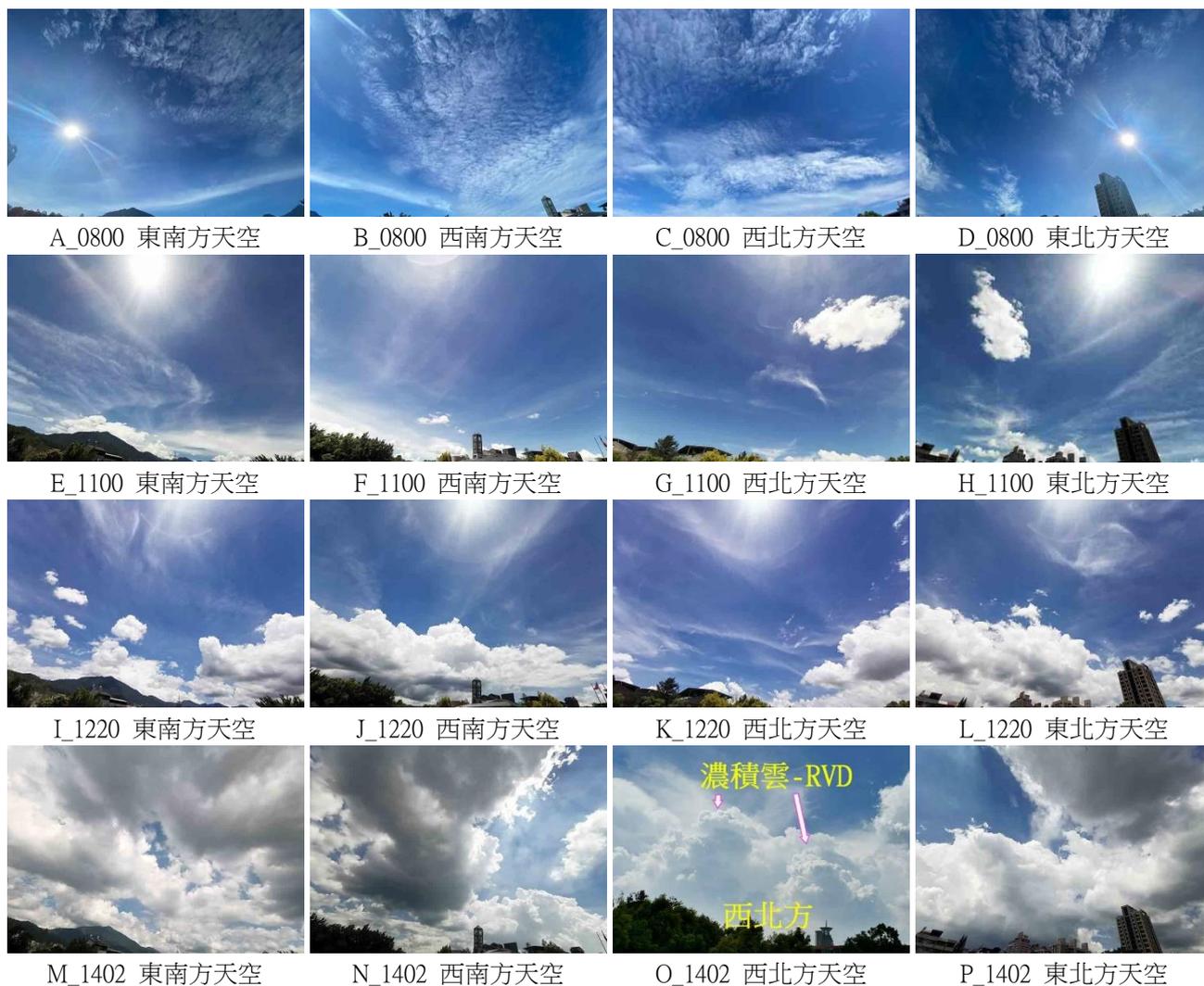
(1).雲層對陽光加熱地面的影響：①.2023-07-20：0800 時，以高積雲為主(圖 43A~D)；1100 時，以卷雲為主(圖 43E~H)；不過雲層都不厚，陽光仍然可以充分加熱地面，提供水氣一個有利的抬升條件。②.2023-07-19：一直到 1100 時之前，天空都以高積雲為主，也有少量卷雲(圖 44A~H)；由事後的分析發現這些中、高雲層並沒有對埔里的氣溫造成影響。關於氣溫對午後雷陣雨的影響，我們在 P.25 還有做進一步的探討。

表 4 第 I 型午後雷陣雨\_2023-07-20 當天的雲況記錄與天氣狀況

時間	雲況記錄與天氣狀況說明
0800	〈總雲量 6〉高積雲 6(棉球狀 3、波狀 1)。有一道特長卷雲：主軸位於南方，東北東-西南西走向。
1100	〈總雲量 3〉卷雲 2+積雲 1。(1).東南方有一道長卷雲(東北東-西南西)，有 1.5 個象限橫幅，稍寬，稍厚；(2).其餘卷雲都不厚(東北方的卷雲有稍厚一些)，分布在各方位；(3).有發展出花椰菜狀的積雲：①.東北方，低-30°；②.東-南-西這區域有許多低的積雲。
1220	〈總雲量 3.5〉濃積雲 3+卷雲 0.5。〔濃積雲：①.東北方：一大片積雲，不確定有無濃積雲；②.北方：小旺 20°-40°；③.西北西：旺頭(註 11)，低-30°；④.西：旺頭，低-20°；⑤.南方-西南方：山形，旺頭，最高 17°-42°〕
1402	〈總雲量 8〉以濃積雲為主。(1).濃積雲：①.東北方-北方發展成一大片；②.西北方：有二大坨都是旺頭，低-40°(右)，低-45°(左)；③.西南西方：山形，旺頭，多頭旺，低-50°；④.從東方到西南方有一大片積雲，已發展至主中的一半，灰度 6-7；(2).西北西方有一砧狀雲，很特殊。
1500~	1500：下毛毛雨〔從 1500~1700 都斷斷續續的下著毛毛雨〕。1700：總雲量 10〔灰白雲佈滿天空，下毛毛雨〕。1715：雨變大。1751：打雷，雨又變大。

註 11：平常觀雲時為了方便稱呼與記錄，我們把濃積雲-RVD 稱作「旺頭」。

圖 43\_2023-07-20 當天的雲況變化(0800~1402) (從右至左剛好可以環視天空一周)



(因為用廣角鏡頭拍攝，所以雲看起來會比實際矮扁)

(2).濃積雲發展的速度：①.2023-07-20：一直到 1220 時才發展出濃積雲(雲量 3)，1402 時濃積雲雲量 8，**1500 時下小雨**；②.2023-07-19：1105 時已發展出少量濃積雲(雲量 0.2)，接著**濃積雲快速發展**，到 1300 時，雲量已達 8，**1425 時下雨**；③.是不是濃積雲發展速度愈快，午後雷陣雨就會來得比較早？確實如此！相關探討請參閱 P.24-25。

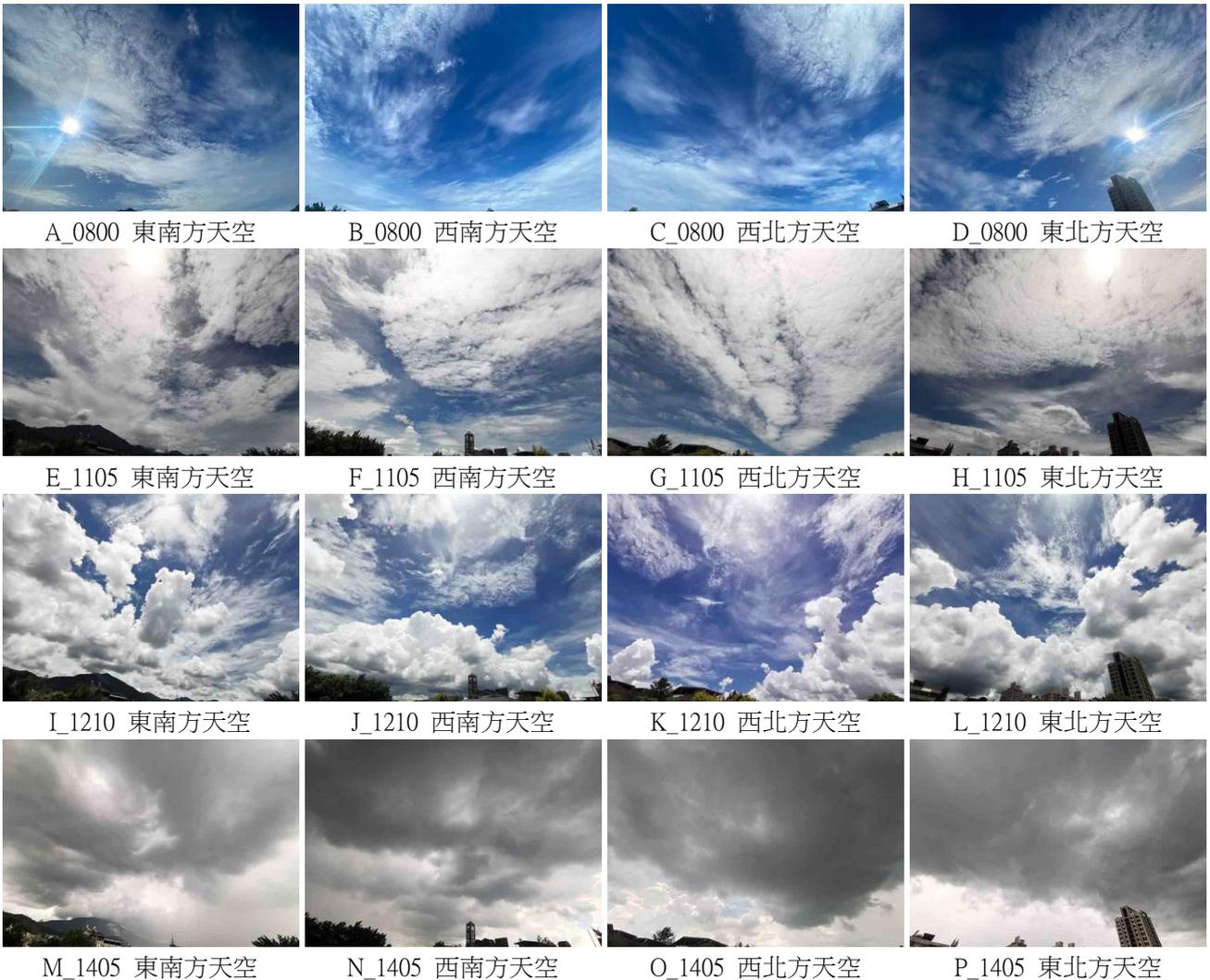
表 5 第 II 型午後雷陣雨\_2023-07-19 當天的雲況記錄與天氣狀況

時間	雲況記錄與天氣狀況說明
0800	〈總雲量 7.5〉層狀高積雲 4+卷積雲 0.5+其他 3(有卷雲、積雲、霧霧的雲)。
1105	〈總雲量 9.5〉高積雲 5(以扁平狀居多)+卷雲 1+積雲 1+其他 2.5。(1).今天的雲很紊亂；(2).東南東方有一大片白色霧狀雲，有可能是密狀卷雲；(3).西南方有一瘦長濃積雲(不是旺頭)；(4).南方-西方這區域低層有許多積雲，似乎快發展成濃積雲。
1210	〈總雲量 9.5〉積雲 7.5(以濃積雲 6)+卷雲 0.5+卷積雲 0.5。〔濃積雲：①.北北東方：山形，旺頭，低-50°；②.西方：瘦長形，低-40°；③.南-西區域：好幾個旺頭，連成大山形，主峰在南南西方，低-50°；④.東方：低-50°，雛形〕。
1405	〈總雲量 10〉灰雲佈滿天空。(1).西方有一旺頭，發展到 45°；(2).灰度 6 以上佔天空一半以上；(3).東南方低層霧霧的，可能已經在下雨了(雷達回波顯示不遠處降水粒子多)；(4).風速中等。

1425~ 1425：下雨。1430：雨變大。1500：雨又變小了。1530：雨又變大。1700：灰雲佈滿天空，下小雨。

其他說明：(1).氣象署：受南方雲系影響；(2).彭啟明：仍在太平洋高壓勢力邊緣，因此大氣並不是非常穩定。

圖 44\_2023-07-19 當天的雲況變化(0800~1405) (從右至左剛好可以環視天空一周)



(因為用廣角鏡頭拍攝，所以雲看起來會比實際矮扁)

### (3).濃積雲-RVD 的發展：

- ①.2023-07-20：1220 時(圖 43I~L、圖 45)，西北西方、西方、「西南-南」方(圖 47)都出現了濃積雲-RVD；1402 時(圖 43M~P、圖 46)，西北方(二大坨)和西南西方都出現了濃積雲-RVD；1710 時，雖然天空遍滿雲層無法觀察濃積雲，但是我們由埔里被強熱對流三面包夾(圖 34)推知此時埔里應該也被濃積雲-RVD 三面包夾(註 12)。
- ②.2023-07-19：1210 時(圖 44I~L)，北北東方和第三象限都出現了濃積雲-RVD(圖 48)；1405 時，只有西方出現濃積雲-RVD。
- ③.小結：由①和②的分析得知 2023-07-20 這一天大埔里地區的大氣環境比較有利於熱對流的發展！為什麼？因為 2023-07-20 這一天在短短 5 小時之內不斷地出現濃積雲-RVD，甚至出現「包夾」現象，可見得埔里周遭的大氣十分不穩定。

註 12：通常強熱對流一開始所外顯出來的雲況會是濃積雲-RVD，接著在大氣環境許可的條件下才會繼續發展成積雨雲；所以說一旦出現強熱對流的「包夾」時，也就表示一定有經過濃積雲-RVD「包夾」的過程。



圖 45\_2023-7-20-1220 濃積雲-RVD 分布示意圖

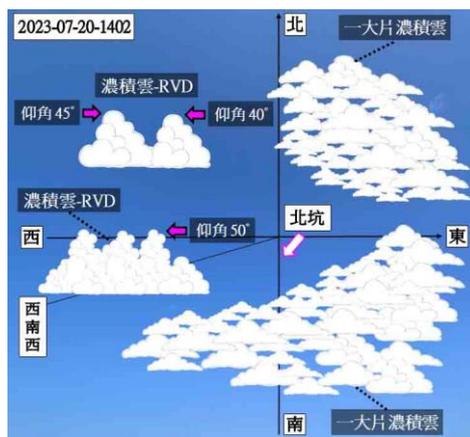


圖 46\_2023-07-20-1402 濃積雲分布示意圖



圖 47\_2023-7-20-1220 左圖為南南西方的濃積雲-RVD (接近肉眼看到的樣子)，右圖為南屯雷達回波圖



圖 48\_2023-07-19-1210 多坨濃積雲-RVD 聚合體，有如龐大的山頭(位於南南西方)

【小結論】我們由濃積雲的分析得知：(1).2023-07-19 這一天因為濃積雲發展得十分快速，所以午後雷陣雨來得比較早；(2).2023-07-20 這一天在短短 5 小時之內不斷地出現濃積雲-RVD，甚至出現「包夾」現象，表示當天大埔里地區的大氣比較有利於熱對流的發展。

## 二、大埔里地區第Ⅲ型午後雷陣雨之相關探討

我們把降雨量小於 10mm 的午後雷陣雨，稱之為「第Ⅲ型」午後雷陣雨。

### (一).第Ⅲ型午後雷陣雨的熱對流形態

我們發現造成第Ⅲ型午後雷陣雨的熱對流有以下幾種類型：

(1).**強高壓籠罩型(類型Ⅲ-1)**：在太平洋高壓籠罩之下，局部地區還是有可能發展出熱對流；若高壓勢力強大到整個台灣大多發展不出熱對流時，我們把此時的高壓稱為「強高壓」，所發展出來的午後熱對流稱為「強高壓籠罩型」；觀察到的實例有 2017-06-22、

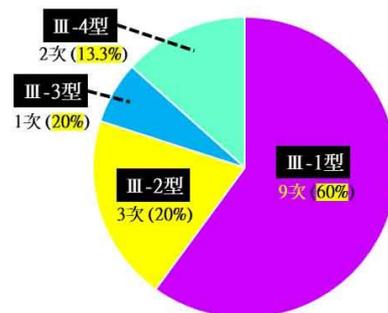


圖49 第Ⅲ型\_4種熱對流形態

2017-06-27、2017-07-13、2017-08-25、2022-07-11、**2022-07-19**、2022-08-26、2023-06-20、2023-06-21 等 9 天。(2).**快過型(類型 III-2)**：屬於快過型熱對流的實例有 2022-07-14、2023-07-05、2023-08-25 等 3 天。(3).**原發型(類型 III-3)**：只有 2023-08-28 這一個實例。(4).**鋒面前緣型(類型 III-4)**：這一型有 2014-06-19 和 2022-06-13 二個實例。

## (二).大埔里地區第Ⅲ型午後雷陣雨之個案分析

在第Ⅲ型午後雷陣雨中，我們取 2022-07-19 這一天降雨量最多的**北坑(8.5mm)**(圖 58)作為個案。底下分別從「大氣環境」、「熱對流的發展」和「濃積雲的發展」三個面向來分析。

### 【大氣環境的分析】

(1).大氣穩定度：①.根據氣象署的說法：「今(19)日受到太平洋高壓的影響，各地天氣晴朗炎熱」，再由 500hpa 的高空天氣圖(圖 51)來判斷，得知當日太平洋高壓籠罩台灣上空；②.由馬公的 CAPE 值 491.5、CIN 值 248.5(圖 52)來看，中部地區的大氣有受到相當程度的抑制。

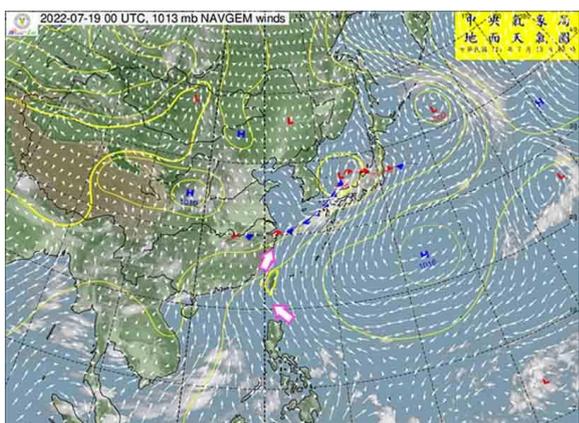


圖 50\_2022-07-19-0800 地面天氣圖

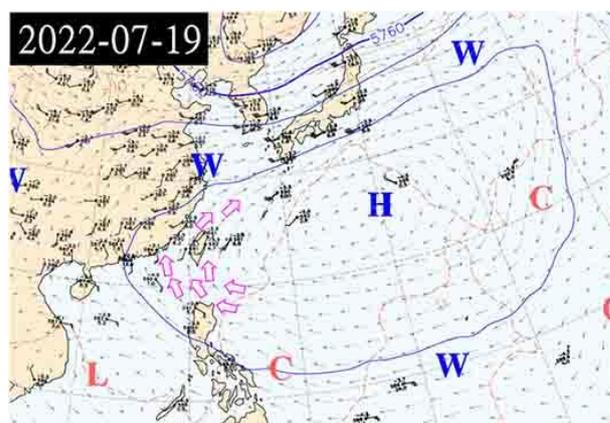


圖 51\_2022-07-19-0800 高空天氣圖(500hpa)

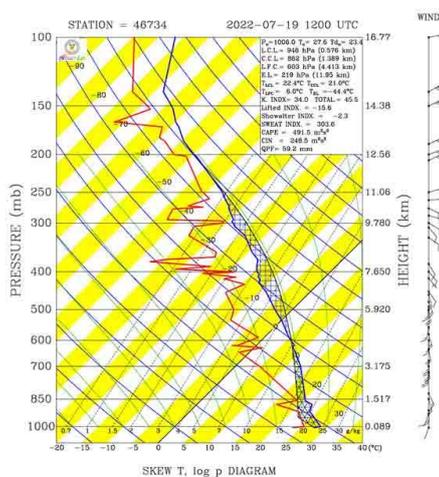


圖 52\_2022-07-19-2000 馬公斜溫圖

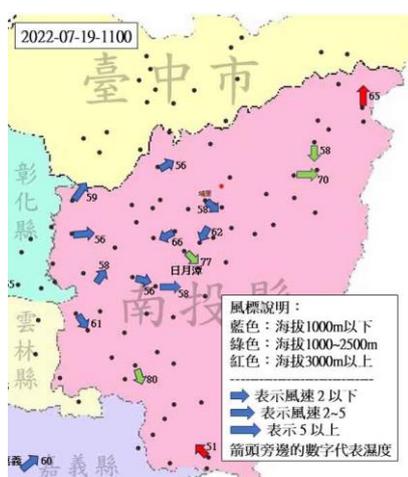


圖 53\_2022-07-19 南投測站風向圖

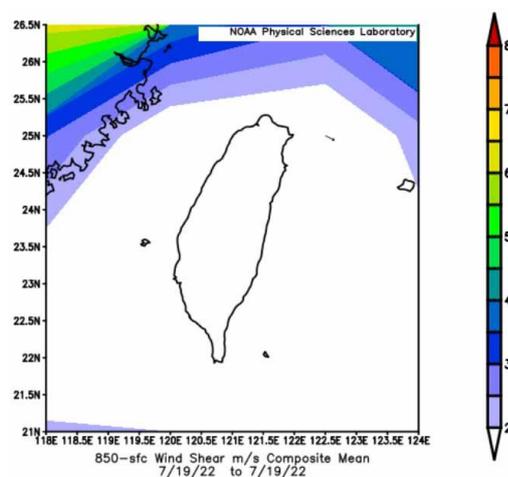


圖 54\_2022-07-19 風切圖\_850-sfc(NOAA)

(2).風向與風速：①.風向：當天在低層風場(700~1000hpa)方面，台灣都處於偏東南風的環境(圖 50)；雖然在 1100 時各地面測站的風向並不一致(圖 53)，可是如果看馬公斜溫圖或者由水

氣移動的方向來判斷，當天下午南投地區低層風場應該以偏南風為主(註 13)；②.風速：參考馬公測站 850hpa 的資料(0800 時，15 節；2000，15 節)，得知當天的風速略大一些。

註 13：夏季，當台灣處於東南風場時，我們發現風向大多會由南到北以順時鐘的方式轉成南風或西南風(圖 50)，而東南風到南投時幾乎都會變成以偏南風為主(2022-07-07 也是處於偏東南風環境，圖 9)

(3).垂直風切：由 NOAA 的垂直平均風切圖(850-sfc)(圖 54)可以看出 2022-07-19 當天的垂直風切為 0，如此非常不利於熱對流的發展。

(4).低層水氣供應：不管是由 CIMSS 的 TPW(圖 55)或者由 NOAA 的 TPW(圖 56)，都可以看出 台灣西半部低層水氣供應量都達中等水平。

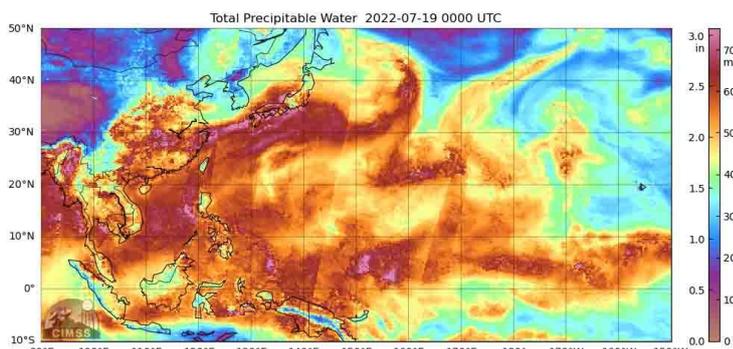


圖 55\_2022-07-19 當天 0800 時的 TPW (取自 CIMSS)

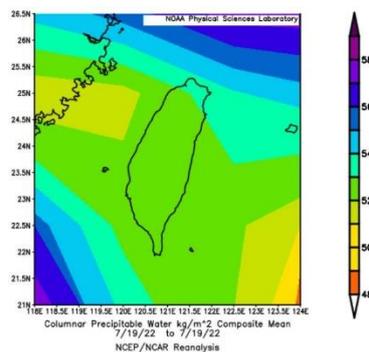


圖 56\_2022-07-19\_TPW\_取自 NOAA

### 【小結論】

2022-07-19 這一天雖然低層水氣量不算太少，但是「太平洋高壓籠罩」加上「0 風切」這二個不利因素，導致降水量偏少。

### 【熱對流的分析】

1.熱對流的規模與分布：當天中部地區熱對流最旺盛的時間點大約落在 1430 時左右(圖 57)，可是一直到 1800 時北坑才發展出極小規模的熱對流(圖 59)。由圖 57 可以看出當天除了北部之外，整個台灣幾乎沒有發展出什麼熱對流。

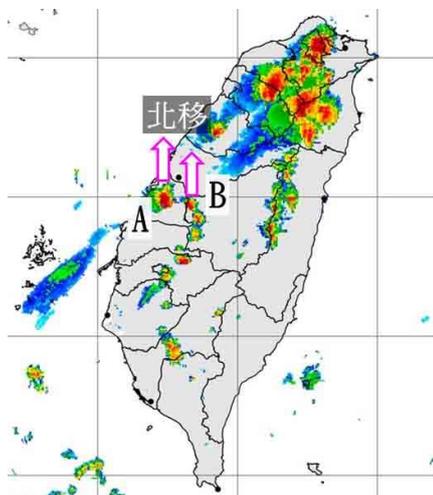


圖 57\_2022-07-19-1430 雷達回波圖

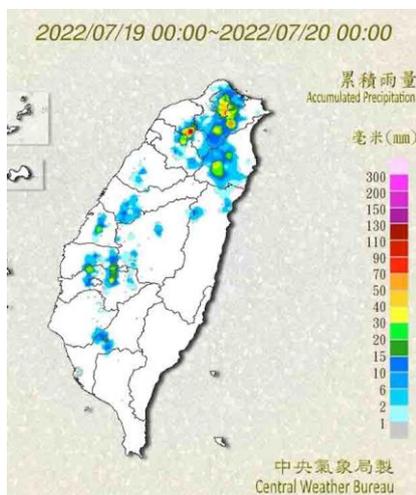


圖 58\_2022-07-19 日累積雨量圖

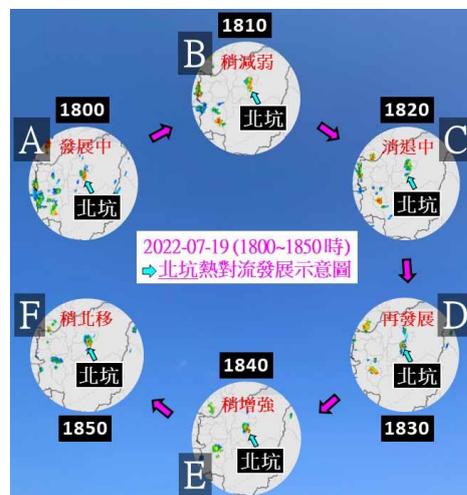


圖 59\_2022-07-19 北坑熱對流 1800~1850

2.熱對流的滯留：雖然當天北坑的熱對流有二次滯留，但是滯留時間都不長：(1).第一次滯留了約 10 分鐘(圖 59A~B)；(2).第二次滯留了約 20 分鐘(圖 59D~F)。

3.風向與熱對流的移動：當天東南風場到中部近海時轉成了偏南風(參考圖 50、52)，那麼南投地區是不是也吹偏南風呢？的確如此！分析如下：(1).1430 時中部地區的熱對流主體都往北移(圖 57 中的 A、B)；(2).1850 時的北坑熱對流往北移(圖 59F)；(3).結論：南投吹偏南風。

### 【小結論】

1.2022-07-19 這一天除了北部之外，其他地方的熱對流都發展不太起來。

2.在大環境低層(700~925hpa)風場均為偏東南風(到南投地區轉成偏南風)且風速稍大的情況下，熱對流主體大都由南往北移動，很少發生滯留現象(即使有滯留，滯留時間也不長)。

### 【濃積雲的分析】(參考表 6、圖 60)

表 6 是 2022-07-19 當天的雲況記錄，圖 60 是針對當天的雲況所拍攝的照片。關於雲況(針對濃積雲)和當天午後雷陣雨的關係，分析如下：

圖 60\_2022-07-19 當天的雲況變化(1113~1406) (從右至左剛好可以環視天空一周)

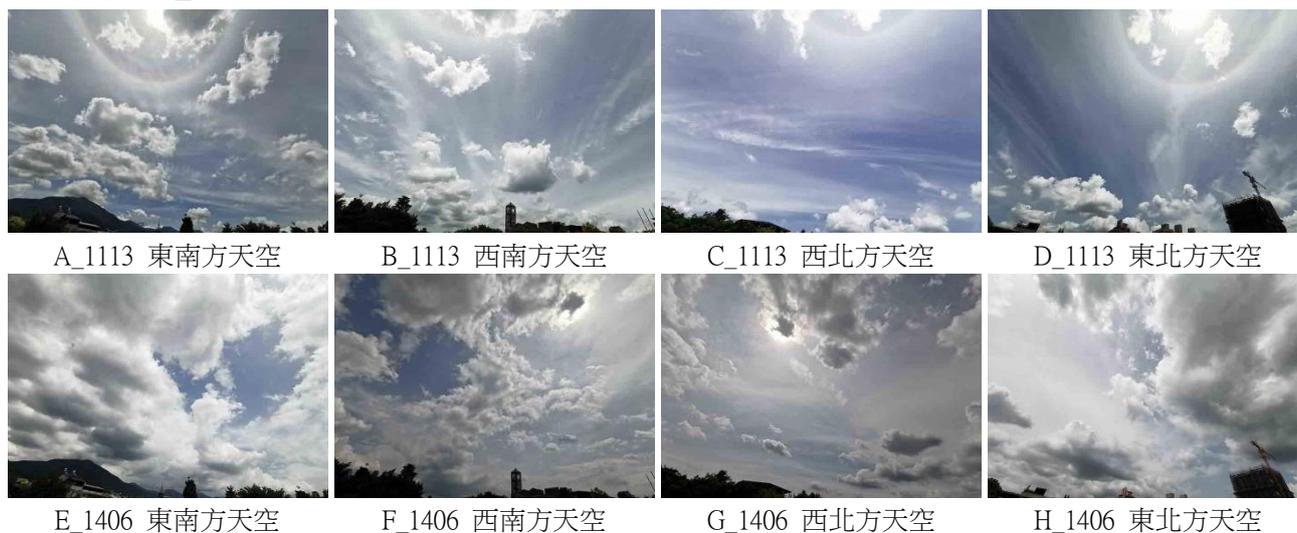


表 6 第三型午後雷陣雨\_2022-07-19 當天的雲況記錄與天氣狀況

時間	雲況記錄與天氣狀況說明
0820	〈總雲量 9〉卷雲 or 卷層雲 9(有日暈)。
0910	卷雲 or 卷層雲 9(卷雲軸有很多條，大多呈西南-東北走向，V 點在南方)+ 少量積雲。有日暈。
1010	〈總雲量 9〉卷雲 or 卷層雲 8+積雲 1(西北和西南方有濃積雲)(南方有勾狀卷雲)。〔濃積雲：第一象限：0；第二象限：0.5/10，雛形；第三象限：0.5/10，雛形；第四象限：0〕。
1113	〈總雲量 10〉薄卷雲 or 薄卷層雲 7+積雲 3 (各方位都有濃積雲，但以西南方最多，有日暈)。〔濃積雲：①.第一象限：1/10，雛形；②.第二象限：1/10，10-11 點有一坨 A(30°)；③.第三象限：3/10，有很多分散的積雲，大多是濃積雲的雛形；④.第四象限：2/10，4 點方向有 4 大坨〕。
1210	〈總雲量 10〉卷雲 or 卷層雲 7+積雲 3。〔濃積雲：①.第一象限：6/10，已形成一大片，雲底大多呈暗灰；②.第二象限：0.5/10，A 坨縮小許多，9-10 點另有一小坨 B；③.第三象限：3/10，已連成一大片，雲底大多呈暗灰色；④.第四象限：3/10，3 點有一大坨 A(60°)，5 點半有一大坨 B(40°)〕。

1315	〈總雲量 9〉卷雲 or 卷層雲 4+積雲 5。〔濃積雲：①.第一象限：4/10，分成 2 大片，發展停滯；②.第二象限：0；③.第三象限：6/10，一大片(範圍擴大)，雲層大多呈暗灰色；西南方有一迷你旺頭(30°-70°)；④.第四象限：6/10，A 坨消散了，2 大片(雲層大多呈灰暗)〕。 D 主中的濃積雲佔全天 0.5/10
1406	積雲 6.5+薄卷層雲 3。
1450	濃積雲：①.第一象限：3/10，分成主中+一小坨 A(12 點，45°)；②.第二象限：0.5/10，分成幾小坨；③.第三象限：1/10，大多消散掉了；④.第四象限：8/10，已連成一大片(雲底大多暗灰)。
1830	下雨。下沒幾分鐘。雨大多集中在水頭附近。

- (1).雲層對陽光加熱地面的影響：當天早上 0820 時天空就出現日暈，前後持續了約 4 小時；雖然卷層雲持續很久，但是雲層都很薄，陽光對地面的加溫應該不會受到太大的影響。
- (2).由濃積雲的發展來看：雖然從 1113 時開始，各個方位都陸續出現濃積雲，但是大多「小而分散」(圖 60A~H)，可見得大氣環境不利於濃積雲的發展。現在以 1152 時南南東方的二坨濃積雲為個案，做較詳細的說明：①.1152 時(圖 61A)：我們觀察到南南東方有二坨靠得很近的濃積雲(左大 A，右小 B)——濃積雲 A 已發展至頂，濃積雲 B 正快速向上發展；②.1156 時(圖 61B)：濃積雲 A 雲頂已變平，而且高度變矮了；濃積雲 B 還在快速向上發展，並把 A、B 之間原先的空隙填滿了；③.1159 時(圖 61C)：濃積雲 A 快速消退，而濃積雲 B 已發展至頂(雲頂開始變鬆散)；④.總結：在短短 7 分鐘當中，竟然看到了二坨濃積雲的「生」(發展)與「滅」(消退)，由此實例可以推知當天的大氣環境真的不利於濃積雲的發展。

圖 61 2022-07-19 當天 1152~1159 時的雲況\_A、B 為二坨濃積雲



圖 A\_2022-07-19-1152 南南東方

圖 B\_2022-07-19-1156 南南東方

圖 C\_2022-07-19-1159 南南東方

### 三、大埔里地區 I II III 午後雷陣雨之綜合探討

前面對於 2023-07-20、2023-07-19 和 2022-07-19 這三種類型的午後雷陣雨已做了基本分析，底下再針對幾個與此三類型相關的議題做更深入的探討。

#### (一).從風向來探討大埔里地區午後熱對流的滯留

在第 I、II 型午後雷陣雨的討論中，發現當風速小且風向(註 14)不一致時，熱對流會滯留比較久；那麼若風向較一致時，熱對流還會發生滯留現象嗎？我們發現當大環境風場是偏東南風或偏西南風時，南投較容易發生一致性的低層(700~925hpa)風場，然而在第 III 型午後雷陣雨的個案分析中，已經對低層風場均為偏東南風(到南投時轉為南風)且風速略大的情況做

了探討，所以現在再來分析另一個一致性的低層風場(偏西南風)對午後熱對流的影響。

我們把偏西南風場分作二個類型：(1).**鋒面前緣型**：當台灣處於鋒面前緣時，環境風場都是以偏西南風為主，而且風速都不小，例如 2014-05-12、2014-06-19、2014-06-23、2022-05-31、2022-06-02、2022-06-13、2022-06-14、2022-06-16 等 8 天；(2).**非鋒面前緣型**：例如 2013-05-30、2014-06-18、2017-06-06、2022-06-17、2022-06-20、2022-06-21、**2023-07-04**、2023-07-05、2023-08-11、2023-08-12、**2023-08-21** 等 11 天。底下再將偏西南風場依風速的大小分二部分來探討：

1.風速稍大(10 節以上)：我們發現在風速稍大的情況下，熱對流大多會順著西南風的方向快速移動，現在以 2023-07-04 這一天為例來說明：(1).當天受到太平洋高壓持續西伸的影響，台灣附近為西南風環境(圖 62A)；(2).1600 時，南投淺山帶熱對流串連至萬大林道附近(圖 62B)；(3).1600~1630 時：因為萬大林道的熱對流發生滯留現象，以致於**強熱對流都順著風場「堆疊」在此處**(圖 62C)，造成萬大林道在 2 小時之內降下了 97.5mm 的驚人雨量；由此可以推知「**風向和強降雨有密切的關係**」；(4).我們把強熱對流順著風向與氣流場下游處的熱對流合併的情況，稱之為「**堆疊現象**」；(5).對照案例：以 2022-06-01 這一天為例：當天的熱對流十分旺盛，1430 時熱對流已從竹山串連到埔里(圖 63A)，不過可能是因為**風向(西風)和熱對流串連的方向(西南-東北)不一致**，導致這麼龐大的強熱對流系統在非常短的時間內就消散了(圖 63B)。

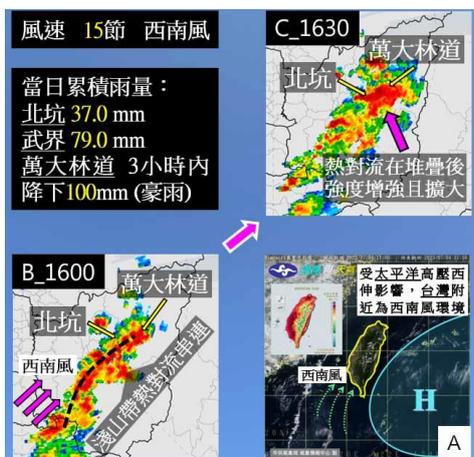


圖 62\_2023-07-04 萬大林道的「堆疊」現象

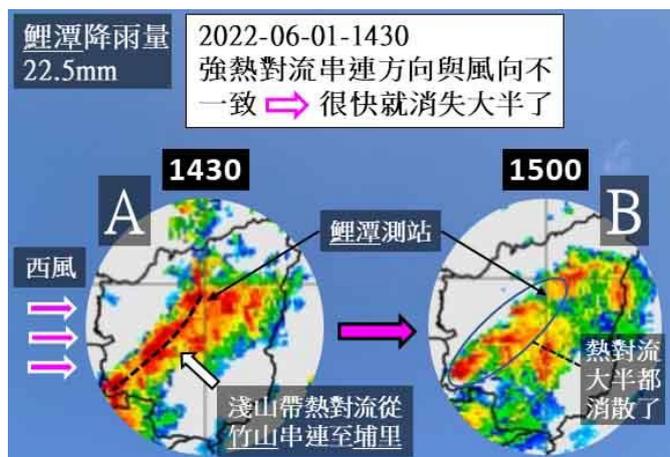


圖 63\_2022-06-01-1430 熱對流從竹山串連至埔里



圖 64\_2023-08-21-1700 剛要進入堆疊過程



圖 65\_2023-08-21-1708 已進入堆疊狀態

2.風速較弱(10 節以下)：我們發現在風速較小的情況下，熱對流容易發生「滯留」現象，以 2023-08-21 這一天為例來說明：(1).當天南投附近的風速較小(馬公 850hpa 為 5 節)；1650 時，九份二山測站附近發展出強熱對流(圖 66A)，而左下方的強熱對流不斷移近，於 1700 時碰觸九份二山的熱對流(圖 66B)，並開始進行「堆疊」；(2).九份二山熱對流的滯留加上「堆疊」總共進行了約 60 分鐘，導致九份二山降下 50.5mm 的雨量；(3).圖 64 是熱對流剛要進入堆疊時九份二山的雲況，而圖 65 則是已進入堆疊狀態下幾分鐘後的雲況(可以看出雲層因堆疊而變厚、變暗)；



圖66 2023-08-21 九份二山的「堆疊」現象

(4).1730 時，凌霄也發生了滯留現象(圖 66E)—前後有二波滯留(1730~1800 和 1830~1910)，總共滯留了約 70 分鐘。

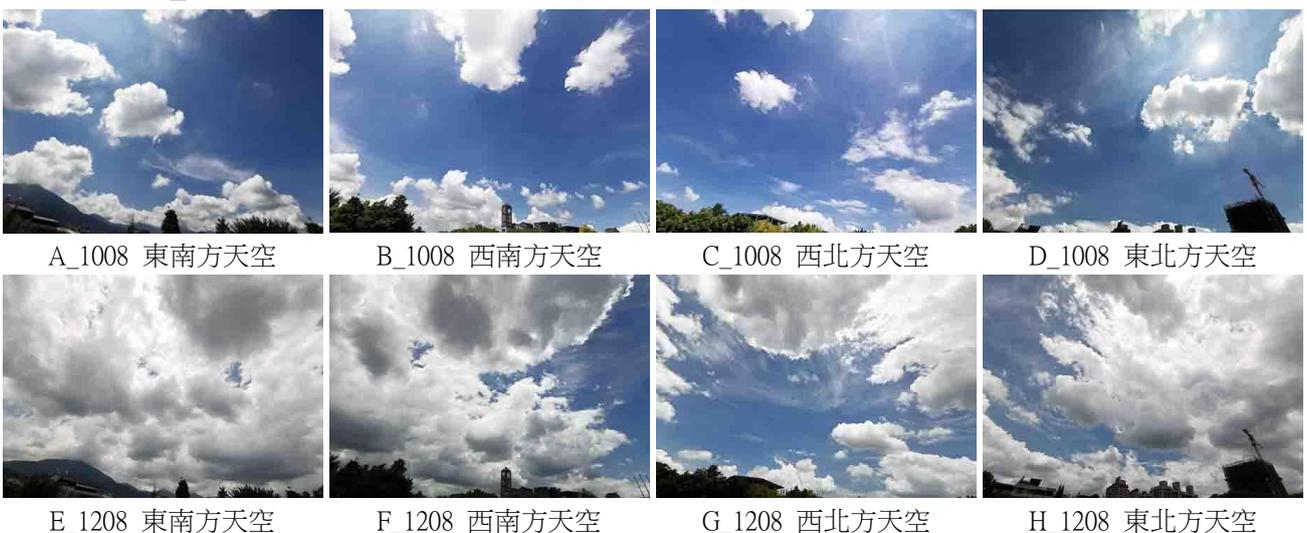
註 14: 因為低層風場對午後熱對流有較大的影響，所以此處所探討的風向就以 700~925hpa 這高度的風場為主。

【小結論】(1).風向不一致且風速小時，熱對流會滯留比較久。(2).風向一致時：①.風速稍大：熱對流大多會順著風向快速移動—若移速變慢或滯留時，可能發生「堆疊」現象。②.風速較弱：熱對流較容易滯留(有時會伴隨「堆疊」現象)。

## (二).濃積雲的發展速度對午後雷陣雨有何影響？

在前面(P.16)的個案分析中，發現「若濃積雲發展得快速且穩定的話，午後雷陣雨會來得比較早」，於是我們再把最近這二年的濃積雲資料拿出來分析(表 7)，更確定了這個想法。

圖 67\_2022-06-29 當天的雲況變化(1008~1208) (從右至左剛好可以環視天空一周)



現在以 2022-06-29 這一天為例來說明(圖 67)：當天早上天氣十分晴朗，直到 1008 時才發展出少量的濃積雲(雲量 1.0)，接著在 2 小時之內濃積雲爆量至 8.0，結果 1340 時就下雨了。

表 7 濃積雲發展迅速的相關案例 (2023-07-19 以外的其他 8 個案例)

日期	濃積雲發展時間	雲量變化	下雨	日期	濃積雲發展時間	雲量變化	下雨
2022-06-01	1100 時→1200 時	2.0→9.0	1410	2022-06-23	1100 時→1430 時	0→8	1530
2022-06-02	0900 時→1100 時	0→8	1250	2022-06-24	1115 時→1408 時	1.5→9.5	1410
2022-06-21	1100 時→1400 時	0.5→9.5	1530	2022-06-29	1008 時→1208 時	1.0→8.0	1340
2022-06-22	1100 時→1400 時	0.5→8.0	1530	2022-07-05	1200 時→1300 時	2.0→8.0	1330

### (三).氣溫變化對 I II 型午後雷陣雨的影響(參考圖 68，取埔里測站的數據)

接著來探討氣溫與午後雷陣雨的關係。因為 2022-07-19 當天太平洋高壓籠罩，不利於熱對流發展，所以下分析只針對 2023-07-20 和 2023-07-19 這二天：(1).由 0800~1100 時的溫度變化來分析：2023-07-20 升高 5.3°C (25.8 → 31.1)，2023-07-19 升高 5.9°C (25.2 → 31.1)，得知：①.2023-07-19 當天早上大量的薄高積雲並沒有減弱陽光對地面的加熱；②.由於 2023-07-19 升溫幅度較大，加上低層水氣量也十分充沛，所以濃積雲的發展速度就比 2023-07-20 還要快；(2).氣溫的反轉點：①.2023-07-20：1220 時發展出旺盛的濃積雲-RVD(雲量 3)(圖 45、圖 69A)，氣溫開始反轉(下降)(圖 68A 點)；即使到 1400 時，厚濃積雲也比較集中(圖 46、69B)，陽光仍可以從缺口照射地面，所以降溫幅度小；②.2023-07-19：1105 時就出現少量濃積雲；1210 時濃積雲雲量已達 6(圖 44I~L、69C)，所以氣溫升幅變小(圖 68，11-13 點)；1300 時濃積雲雲量達到 8，並發展出許多厚濃積雲(圖 69D)，所以氣溫開始大幅下降(圖 68B 點)，結果 1425 時就下雨了。③.小結：厚濃積雲的發展易導致氣溫的升幅變慢，甚至反轉(下降)；若厚濃積雲發展愈快速，氣溫的降幅愈大。(3).由降雨前的高溫(比月均溫 30.95 °C 高)維持時間來分析：2023-07-20 的高溫(平均值比月均溫高 0.9°C)維持了 4 小時，結果北坑降下了豪雨；2023-07-19 的高溫(平均值比月均溫高 0.4°C)只維持了 3 小時，因此埔里測站只下了 47.5mm 的雨量；小結：降雨前氣溫愈高且維持愈久，愈可能帶來較大的降雨。

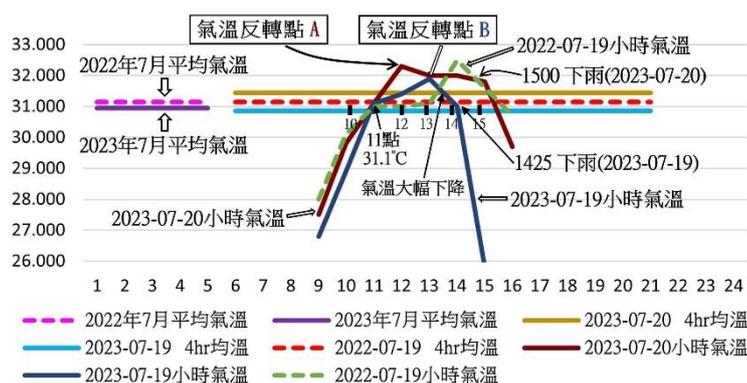
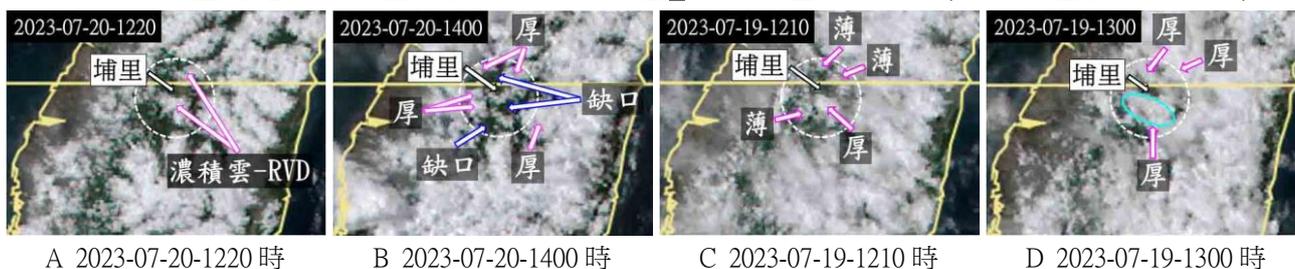


圖 68 氣溫變化對 I II III 型午後雷陣雨的影響

圖 69 氣溫變化對 I II 型午後雷陣雨的影響\_分析氣溫的反轉點(由真實色雲圖來分析)



註 15：圖 68 中的相關名詞解釋：(1).4hr 均溫：當日中午最熱 4 小時(1000~1400 時)氣溫的平均；(2).月均溫：每日 4hr 均溫的平均；(3).小時氣溫：當日埔里測站整點的氣溫(我們取 0900~1600 時)。

#### (四).濃積雲-RVD 或強熱對流的「包夾作用」

若埔里附近發展出強熱對流，午後雷陣雨會下在核心區嗎？答案是「不一定」！可是若埔里核心區被附近的濃積雲-RVD 或強熱對流包夾在中間時，卻都會被引發出熱對流而導致下雨。我們把這種現象稱為「包夾作用」。具體原因不是很清楚，推測應該是「附近強熱對流的多面包夾，導致埔里上方的大氣也因此變得十分不穩定」。在第 I 型午後雷陣雨的個案(2023-07-20)分析中，已提到埔里被強熱對流三面「包夾」(圖 34)，導致北坑降下了 151mm 的超大雨量。除此之外，我們還有其他 6 個案例，如表 8 所示。現在針對其中 3 個案例做進一步說明：

圖 70 濃積雲-RVD(或強熱對流)的「包夾作用」\_2022-06-23 等三天

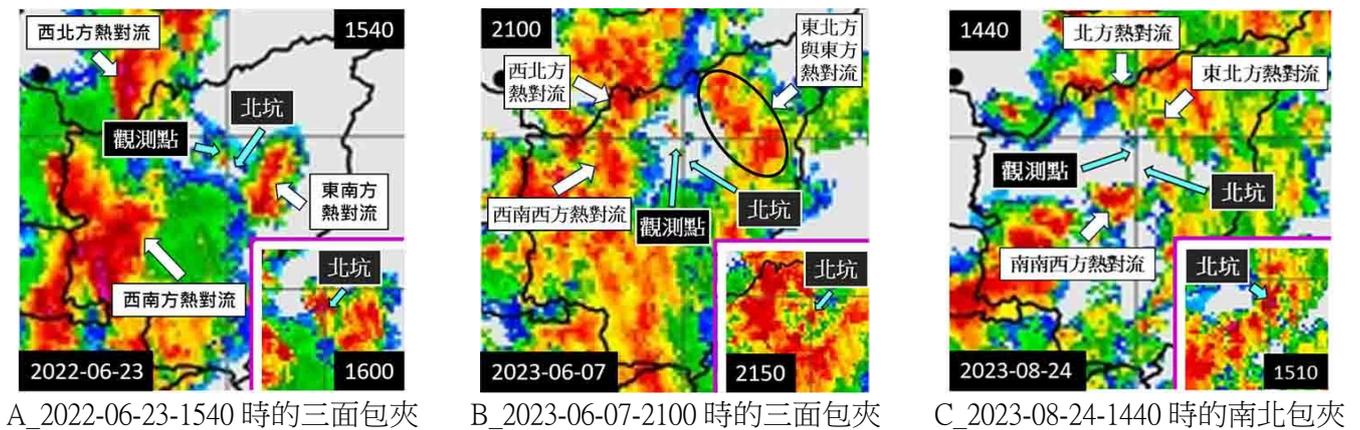
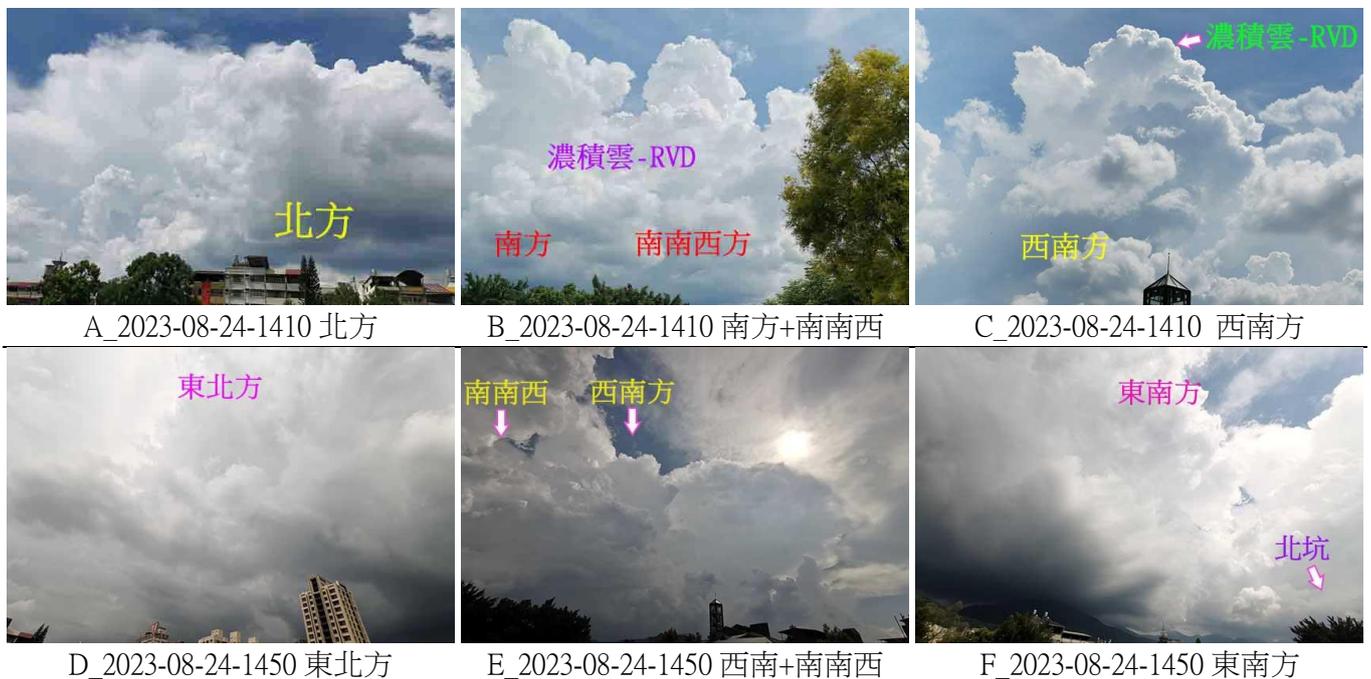


圖 71\_2023-08-24 發生強熱對流「包夾作用」前 30 分鐘、後 10 分鐘濃積雲的雲況變化



- 1.2022-06-23：1540 時埔里被位於西北、西南和東南方的強熱對流包圍(圖 70A)，其中東南方的強熱對流最接近，1600 時北坑就發展出強熱對流(圖 70A 右下角)，並降下 34mm 的雨量。
- 2.2023-06-07：2100 時埔里被位於東方、東北、西北和西南西方的強熱對流包圍(圖 70B)，只剩

南、北方有缺口，2150 時北坑就發展出強熱對流(圖 70B 右下角)，接著降下 33mm 的雨量。

3.2023-08-24：雖然當天 1440 時埔里才被強熱對流三面包夾(圖 70C)，但是在 1410 時北方、西南方、南南西方和南方都已經出現旺盛的濃積雲(圖 71A~C)，1450 時東北方、西南方、南南西方、南方和東南方整個天空幾乎都是濃積雲(圖 71D~F)，接著 1510 時北坑(圖 70C 右下角)就發展出強熱對流，並降下 38mm 的雨量。

表 8 濃積雲-RVD(或強熱對流)的「包夾作用」案例(2023-08-24 以外其他 6 個案例)

日期	包夾→埔里發生熱對流時間	雨量	日期	包夾→埔里發生熱對流時間	雨量
2017-07-15	1650 時(南北包夾)→1700 時	14.0	2023-06-07	2100 時(三面包夾)→2210 時	33.0
2022-06-23	1540 時(三面包夾)→1600 時	34.0	2023-06-29	1420 時(三面包夾)→1430 時	25.5
2022-06-28	1920 時(南北包夾)→1930 時	21.5	2023-08-24	1440 時(三面包夾)→1510 時	38.0

### (五).濃積雲-RVD 或強熱對流的「逼近作用」

關於大埔里核心區的午後雷陣雨，我們總共分析了 85 個個案，其中原發型熱對流有 50 次，外來型熱對流有 46 次，二者兼具的有 11 次。原發型熱對流主要是由當地發展起來的，雖然容易由上方天空大面積雲層逐漸變厚的現象預判出核心區即將發生午後雷陣雨，但是無法對濃積雲做較細緻的觀察，所以此處只探討外來型的熱對流。如圖 72 所示，外來型熱對流中，以來自第三象限的熱對流最多(可能是因為風向和地形的效應)，佔了約 80.5%，所以觀察第三象限濃積雲的發展就成為預測埔里核心區午後雷陣雨的關鍵。

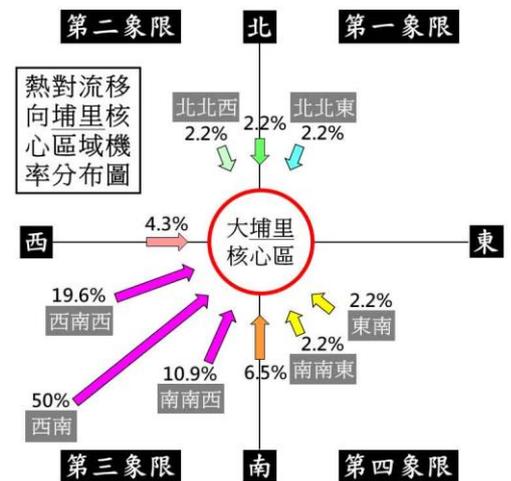


圖72 熱對流移向埔里核心區域機率圖

現在舉 2017-07-15 這一天為例來說明：(1).1500 時：西南方已發展出許多濃積雲(圖 74A)，而雷達回波只顯示出少許對流水氣(圖 75A)；(2).1625 時：北方(圖 73)和第三象限(圖 74B)都出現濃積雲-RVD；西南方已發展出旺盛的強熱對流(圖 75B)；(3).1625~1710 時：強熱對流逐步往埔里方向移動；(4).1710 時：①.西南方的強熱對流已非常逼近埔里核心區(圖 75C)；②.西南方的濃積雲-RVD 此時也發展得十分巨大，看起來很接近觀測點(圖 74C)；③.觀測點附近發展出熱對流，並開始下小雨；(5).1730 時雷電交加；1750 時雨變大(圖 74D)(圖 75D)；1910 時天空仍殘留許多水氣(圖 75E)，形成美麗的彩霞(圖 74E)。(6).當天魚池和埔里測站在 1700~1900 時分別降下 30.5mm 和 24.5mm 的雨量。(7).我們把這種因為強熱對流的接近而導致當地發展出熱對流，並發生午後雷陣雨的現象，稱之為「逼近作用」。

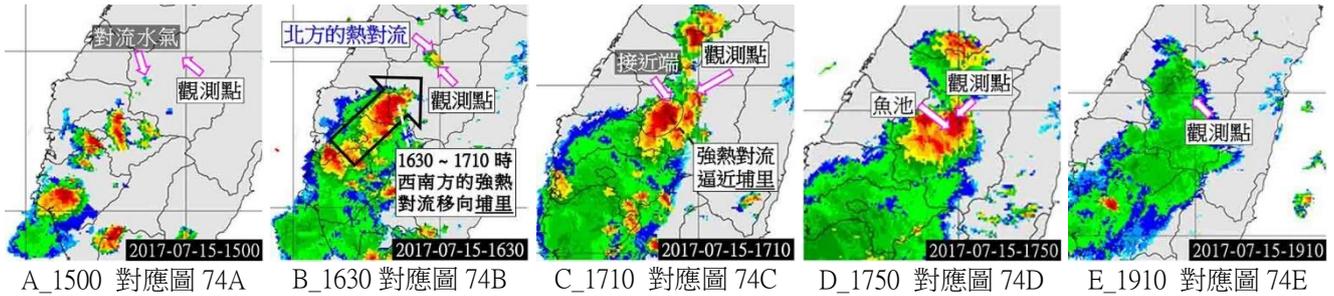


圖73 2017-07-15-1625 北方的濃積雲-RVD

圖 74\_2017-07-15 當天的雲況與雨況(1500~1912) \_對應圖 75



圖 75\_2017-07-15 當天的雷達回波圖\_熱對流發展與移動過程(1500~1910)\_對應圖 74



## (六).淺山帶熱對流對大埔里地區午後雷陣雨影響之探討

淺山帶熱對流一旦串連到埔里，往往會帶來較大的雨勢，所以有必要深入探究(參考圖 76)：(1).若淺山帶熱對流沿竹山-名間一路向北串連，雨大多只會下在大埔里地區的邊緣地帶；(2).**黃金三角**：發現在埔里附近有二個熱對流串連路徑最密集的区域(總通過率約 77%)，我們稱之為「黃金三角」一上方三角大致位於雙冬-九份二山之間，簡稱為「**冬-九黃金三角**」；下方三角大致位於集集-水里交界附近，簡稱為「**集-水黃金三角**」；(3).串連至埔里核心區的淺山帶熱對流大多會通過集-水黃金三角，機率約 83%，所以我們可以從這個黃金三角預估埔里核心區是否即將迎來較劇烈的午後雷陣雨；

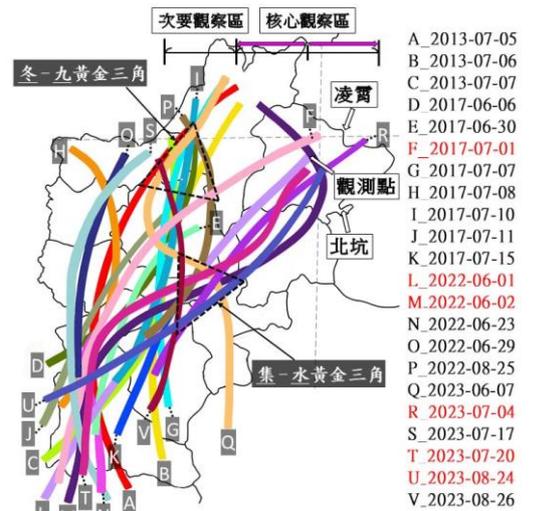


圖 76 南投地區淺山帶熱對流的串連路徑示意圖

(4).依淺山帶熱對流進入核心區的方位來探討：①.若從南緣進來(圖 76-M、R、T、U 線)，降雨熱點大多會落在北坑附近；②.若從觀測點西南方進來(圖 76-L 線)，降雨熱點會落在觀測點附近；③.若從觀測點西方進來(圖 76-F 線)，降雨熱點會落在凌霄附近。

## 陸、結論

### 一、大埔里地區第 I 型、第 II 型午後雷陣雨之相關探討

- 1.造成第 I 型午後雷陣雨(達大雨標準)的熱對流有「與淺山帶熱對流相關型」(出現頻率最高)、「原發型」、「合併型」、「移駐型」和「鋒面前緣型」等五種類型。
- 2.造成第 II 型午後雷陣雨(10mm<雨量<大雨)的熱對流有「原發型」(頻率最高)等七種類型。

- 3.2023-07-20(I 型)和 2023-07-19(II 型)所處的大氣環境十分類似：(1).都處於太平洋高壓邊緣；(2).低層風向較紊亂、風速較微弱；(3).上方大氣十分不穩定；(4).低層垂直風切都不大；(5).低層水氣供應都還算充足(2023-07-19 這一天稍多一些)。
- 4.2023-07-20 當天強熱對流發生了「**滯留**」、「**包夾**」、「**合併**」現象加上降雨熱點附近有大規模的強熱對流，所以才降下了驚人的雨量；2023-07-19 當天所發展出來的是孤立型的熱對流，加上規模不大，因此即使熱對流滯留了約 70 分鐘，但是降雨量仍然有限。

## 二、大埔里地區第Ⅲ型午後雷陣雨之相關探討...雨量<10mm

- 1.造成第Ⅲ型午後雷陣雨的熱對流有「強高壓籠罩型」(**出現頻率最高**)等四種類型。
- 2.第Ⅲ型午後雷陣雨的個案(2022-07-19)分析：為什麼當天的降雨量會偏少？(1).當天由於「太平洋高壓籠罩」加上「風切 0」，所以午後熱對流極不容易發展起來(北坑只發展出極小規模的熱對流)；(2).若單從濃積雲的發展來看，不只是濃積雲本身雲量少，而且大多是「小而分散」的類型，可見得大氣環境不利於濃積雲的發展。

## 三、大埔里地區 I II III 型午後雷陣雨之綜合探討

- 1.風場對於熱對流「滯留」與「堆疊」的影響：(1).風向不一致且風速小時，熱對流會滯留比較久。(2).風向一致時：①.**風速稍大：熱對流大多會順著風向快速移動—若移速變慢或滯留時，可能發生「堆疊」現象**；②.**風速較弱：熱對流較容易滯留(有時會伴隨堆疊現象)**。
- 2.若濃積雲發展地既快速又穩定的話，午後雷陣雨會來得比較早。
- 3.厚濃積雲的發展易導致氣溫升幅變小，甚至反轉(下降)；若發展愈快速，氣溫的降幅愈大。
- 4.**降雨前氣溫愈高且維持愈久，愈可能帶來較大的雨勢。**
- 5.若埔里被附近的濃積雲-RVD 或強熱對流「包夾」在中間時，不多久就會發生午後雷陣雨。
- 6.移至埔里核心區的熱對流主要來自第三象限。
- 7.我們可以藉由觀察第三象限濃積雲-RVD 發展的情況來判斷埔里核心區是否會發生午後雷陣雨—例如：若濃積雲-RVD 發展得愈來愈旺盛且愈來愈靠近時，表示強熱對流正逐漸逼近中，埔里即將迎來午後雷陣雨。
- 8.淺山帶熱對流對大埔里午後雷陣雨的影響：(1).在埔里附近有二個熱對流串連路徑最密集的區域，我們稱之為「黃金三角」；(2).**可以從「集-水黃金三角」預估埔里核心區是否即將迎來較劇烈的午後雷陣雨**；(3).**可以從熱對流進入核心區的方位，預判出降雨熱點。**

表 9 大埔里地區午後雷陣雨研究之八大新發現

八大項新發現	文獻比對與研究新發現摘要
大埔里地區 I II III 型午後雷陣雨之熱對流形態	1.文獻比對： <b>無相關研究</b> 。2. <b>研究新發現</b> ：(1).造成第 I 型午後雷陣雨的熱對流有「與淺山帶熱對流相關型」等 5 種類型。(2).造成第 II 型午後雷陣雨的熱對流有「原發型」等 7 種類型。(3).造成第 III 型午後雷陣雨的熱對流有「強高壓籠罩型」等 4 種類型。
大氣環境極類似的午後雷陣雨個案之分析比較	1.文獻比對： <b>無相關研究</b> 。2. <b>研究新發現</b> ：2023-07-20 和 2023-07-19 這二天的大氣環境極為類似，分析比較後發現：(1).2023-07-20 當天強熱對流發生了「滯留」、「包夾」、「合併」加上降雨熱點附近有大規模的強熱對流，所以才會降下驚人的雨量；(2).2023-07-19 當天的熱對流規模小而分散，雖然滯留了約 70 分鐘，但是降雨量仍然有限。

風向對午後熱對流的「滯留」有何影響	1.文獻比對：無相關研究。2.研究新發現：(1).風向不一致且風速小時，熱對流會滯留比較久。(2).風向一致時：①.風速稍大：熱對流大多會順著風向快速移動—若移速變慢或滯留時，可能發生「堆疊」現象；②.風速較弱：熱對流較容易滯留(有時會伴隨「堆疊」現象)
濃積雲發展速度對午後雷陣雨的影響	1.文獻比對：無相關研究。2.研究新發現：若濃積雲發展地既快速又穩定的話，午後雷陣雨會來得比較早。
氣溫變化對 I II III 型午後雷陣雨的影響	1.文獻比對：無相關研究。2.研究新發現：(1).厚濃積雲的發展易導致氣溫升幅變慢，甚至反轉(下降)；若發展愈快速，氣溫的降幅愈大；(2).降雨前氣溫愈高且維持愈久，愈可能帶來較大的雨勢。
濃積雲-RVD 或強熱對流的「包夾作用」	1.文獻比對：無相關研究。2.研究新發現：若埔里被附近的濃積雲-RVD 或強熱對流「包夾」在中間時，不多久就會發生午後雷陣雨。
濃積雲-RVD 或強熱對流的「逼近作用」	1.文獻比對：無相關研究。2.研究新發現：(1).移至埔里核心區的熱對流主要來自第三象限。(2).我們可以藉由觀察第三象限的濃積雲-RVD 發展的情況來判斷埔里核心區是否即將發生午後雷陣雨。
淺山帶熱對流對大埔里地區午後雷陣雨的影響	1.文獻比對：無相關研究。2.研究新發現：(1).在埔里附近有二個淺山帶熱對流串連路徑最密集的区域，我們稱為「黃金三角」；(2).可以從「集-水黃金三角」預估核心區是否即將迎來較劇烈的午後雷陣雨；(3).可以從熱對流進入核心區的方位，預判出降雨熱點。

## 柒、未來展望

我們認為對於大埔里地區的午後雷陣雨有三個主題值得進一步探究：(1).淺山帶熱對流的形成機制如何？以及它為什麼會串連至大埔里地區？(2).地形對大埔里地區午後雷陣雨的影響如何？(3).濃積雲-RVD 的發展對大埔里地區午後雷陣雨的影響如何？

## 捌、作品說明書圖片來源說明

(1).作者自行拍攝或繪製：圖 1~3、5~7、9、11、16~19、21、24、42~46、47(左)、48、49、53、60、61、64、65、67、68、71~74、76；(2).取自大氣科學研究與應用資料庫：圖 10、12、13、20、22、23、25、26、32~41、47(右)、50~52、57~59、62、63、66、69、70、75；(3).取自 Worldview 網站：圖 8；(4).取自 CIMSS 網站：圖 14、30、55；(5).取自 NOAA 網站：27、28、29、31、54、56；(6).取自《豪雨與豪雪之氣象學》一書：圖 15。(7).指導老師提供：封面照片、圖 4。

## 玖、參考資料

- 1.中央氣象署 <https://www.cwa.gov.tw/V8/C/>
- 2.大氣科學研究與應用資料庫 <https://asrad.pccu.edu.tw/catalog/>
- 3.張泉湧譯(2009)。豪雨與豪雪之氣象學。臺北市：五南圖書有限公司。
- 4.吳念芸等(2017)。「濃」、「卷」、「鋒」—雲與天氣變化之探討。第 57 屆全國科展。地球科學科。
- 5.李旻恩(2021)。暖季弱綜觀下台灣中部午後對流特徵研究。國立中央大學大氣所碩士論文。
- 6.朱韻雅(2019)。北台灣午後對流的強降雨事件發展機制。國立台灣大學大氣所碩士論文。
- 7.陳泰然等(2009)。暖季弱綜觀強迫下中北台灣午後對流的氣候特徵。大氣科學，37，155-194。
- 8.王嘉琪(2014)。收集水氣的濃積雲。科學月刊，538 期。
- 9.魏俊崎譯(2009)。雨的科學。臺中市：晨星出版有限公司。

## 【評語】 030305

本研究針對新幾內亞雙眼闊地渦蟲(*Platydemus manokwari*)在台灣  
的入侵情況、形態特徵、捕捉和飼養方法、基因鑑定及獵食行為進行  
探討，具備生態保育的意義。此外，整體研究流程明確，有適當的文  
獻回顧，報告結構清晰，能有效表達研究內容和結論，可見參展同學  
的用心與努力，值得鼓勵。

建議作者可對新幾內亞雙眼闊地渦蟲在台灣入侵情況，提供更明確  
的量化資料，例如將抓到渦蟲的分佈地、總隻數，及 *P. manokwari*  
的隻數等數據進行作圖或列成表格。又，國內目前並未將 *P.*  
*manokwari* 列為入侵種，作者若認為該物種的入侵優先處理順序要較  
對福壽螺和非洲大蝸牛的為更高，則應先提供明確與客觀的「外來種  
無脊椎動物處理順序評估」之給分標準。

## 作品簡報



濃積雲

與大埔里地區

午後雷陣雨之探討

# 摘要

我們依雨量多寡將大埔里地區午後雷陣雨分作 I 型(達大雨標準)、II 型(10mm<雨量<大雨)、III 型(雨量<10mm)，研究成果如下：(1)導致三種降雨類型的熱對流形態並不相同。(2)因風場的不同熱對流可能發生滯留或「堆疊」現象。(3)若濃積雲穩定快速發展，則午後雷陣雨會來得比較早。(4)可由氣溫的反轉(下降)點來判斷厚濃積雲發展情況。(5)降雨前氣溫愈高且維持愈久，愈可能帶來較大的雨勢。(6)濃積雲-RVD 或強熱對流的包夾作用預測下雨的成效非常好。(7)可藉由觀察第三象限濃積雲-RVD 發展情況來判斷埔里是否會發生午後雷陣雨。(8)可由淺山帶熱對流「集-水黃金三角」來預估核心區是否會發生劇烈降雨。

## 壹、研究動機

我們從小就喜歡雲。上了國中，在機緣巧合下，抱持著求知欲及好奇心報名了學校「雲」科展團隊，希望藉由這次的研究能讓我對雲有更深入的了解。

## 貳、研究目的

- 一、大埔里地區第 I 型、第 II 型午後雷陣雨之相關探討
- 二、大埔里地區第 III 型午後雷陣雨之相關探討
- 三、大埔里地區 I II III 型午後雷陣雨之綜合探討

## 參、研究設備及器材



圖1 我們在觀測地點進行雲況的觀察



圖2 大埔里及其附近地區的立體地形模型

## 肆、研究過程或方法

### (一).觀雲實作(參考圖1)

- 1.時間：從0800時開始，每隔3小時觀察一次。有時會看情況做更多次的觀察。
- 2.地點：位於我們學校操場的中央。
- 3.雲量的計算：採用「十分量」。
- 4.天空的劃分：如圖3所示。

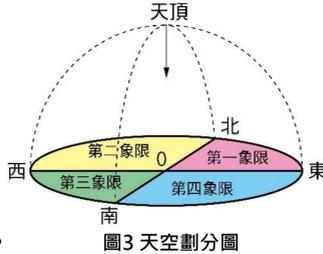


圖3 天空劃分圖

### (二).如何正確地辨別雲類：

- 1.雲類依「雲底」高度分作四族十屬
- 2.只要從「外觀」就可以辨別出來的雲類：例如卷雲、卷層雲、大部分高積雲、大部分積雲等。
- 3.對於較難判斷的雲類，採用如下的方法：(1).雲高：①.山頭參照法(圖4)、②.手指判斷法、③.紅外線衛星雲圖、④.NASA繞極衛星的雲頂高度圖、⑤.斜溫圖。(2).陰影。(3).維持時間長短。(4).雲底平整度。



圖4 埔里附近較高的山頭



圖5 馬公、花蓮、新北測站示意圖

### (三).斜溫圖的運用

- 1.斜溫圖是依探空氣球所測得的大氣數據繪製出來的
- 2.花蓮、新北和馬公是距離埔里最近的三個測站(圖5)
- 3.我們通常會以馬公的探空資料為主要依據。
- 4.斜溫圖對我們研究的用途：(1).判斷雲層所在的高度；(2).判斷大氣的穩定度。

### (四).濃積雲的特徵與發展

- 1.濃積雲為積雲的主要種類之一。
- 2.濃積雲有二個主要特徵：(1).雲頂常發展出類似花椰菜的外形；(2).有比較大的垂直範圍。
- 3.濃積雲的發展：(1).LCL和EL對濃積雲發展的影響(圖6)：①.因為積雲都是從「**舉升凝結高度**」(LCL)往上發展，所以它們的底部看起來大多十分平坦。②.濃積雲最終的發展高度通常會由「**平衡高度**」(EL)來決定。(2).LFC(自由對流高度)對濃積雲發展的影響：積雲只要能到達自由對流高度，就可以獲得周遭大氣給它的能量(CAPE值的能量大小)。

(3).濃積雲-RVD：我們把滿足三個條件的濃積雲稱作「濃積雲-RVD(Rapid Vertical Development)」(圖48左)：①.以肉眼可見的速度，快速往上發展；②.最後發展得十分巨大；③.雷達回波的dBZ值大於30。

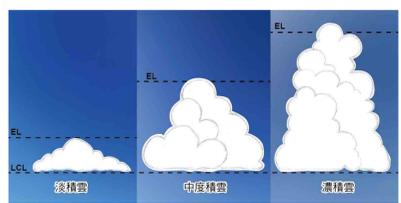


圖6 LCL和EL決定了積雲發展的厚度

(4).濃積雲高度的判斷：①.藉助Terra、Suomi NPP和Aqua這三顆繞極衛星的雲頂高度圖(圖8)；②.利用簡易測量法：以2023-07-20這一天為例(圖7、8)：此濃積雲雲頂仰角約42°，和觀測點的距離約11公里(可由雲頂高度圖測量出來)，再用三角函數即可算出雲頂高度約9904公尺。

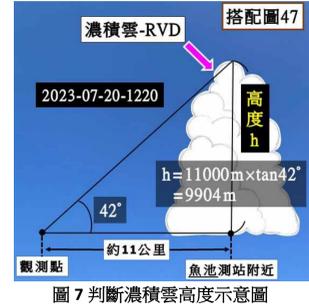


圖7 判斷濃積雲高度示意圖

(5).濃積雲發展的三階段(以2022-07-07為例)：①.初生期：在雷達回波圖顯示出來前的濃積雲稱為「初生期」；②.

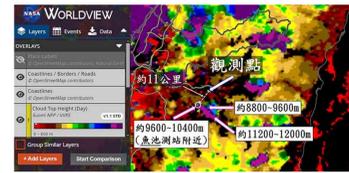


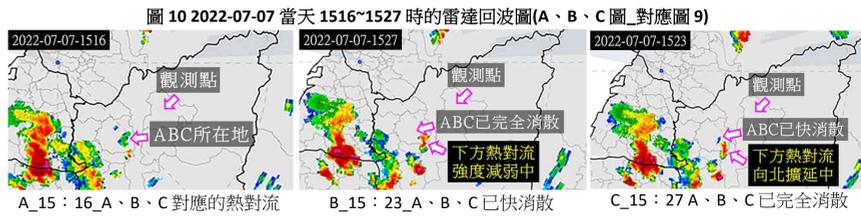
圖8 2023-07-20-1230時·Suomi NPP衛星的雲頂高度圖

旺盛期：當濃積雲發展到其中的水滴可以被雷達偵測出來時，就進入了「旺盛期」(圖9A、10A)；③.衰退期：當雷達回波圖上的熱對流由強轉弱一直到濃積雲完全消散為止，稱為「衰退期」(圖9B、C&圖10B、C)。

圖9 2022-07-07 當天 1516~1528 時的雲況·A、B、C 為三堆濃積雲(A 照片用廣角鏡頭拍攝)

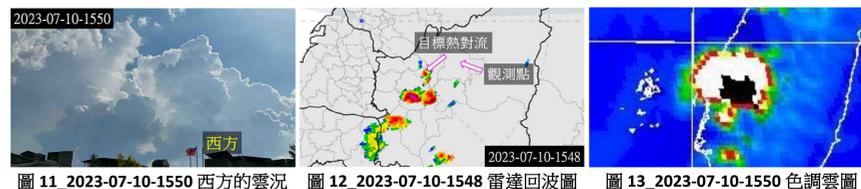


圖10 2022-07-07 當天 1516~1527 時的雷達回波圖(A、B、C圖對應圖9)



### (五).熱對流的判斷

1.我們通常會採用雷達回波圖來判斷熱對流的發展。為何不採用紅外線雲圖？主因是紅外線雲圖的解析度比較低。以2023-07-10為例(圖11~圖13)來說明。



### (六).水氣與風場的判斷

- 1.水氣若能進入對流系統，在上升的過程中會冷凝並釋放出潛熱，而這潛熱可使對流更為加強。
- 2.引發熱對流的水氣以低層高度(850百帕以下)的水氣為主。
- 3.低層水氣可以參考大氣可降水量(TPW)。
- 4.風場：(1).可參考高空天氣圖；(2).我們也自行繪製了南投各測站的風向、風速圖(圖21、22、59)。
- 5.風切：(1).垂直風切對形成中尺度有組織性的熱對流很重要(圖14)；(2).台灣上空的風切普遍偏小，所以午後雷陣雨都下不久。

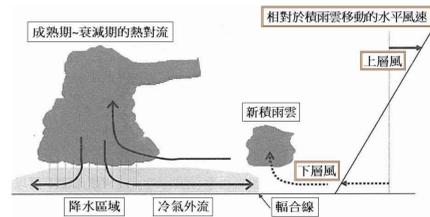


圖14 垂直風切與新積雨雲示意圖

### (七).文獻探討與研究架構

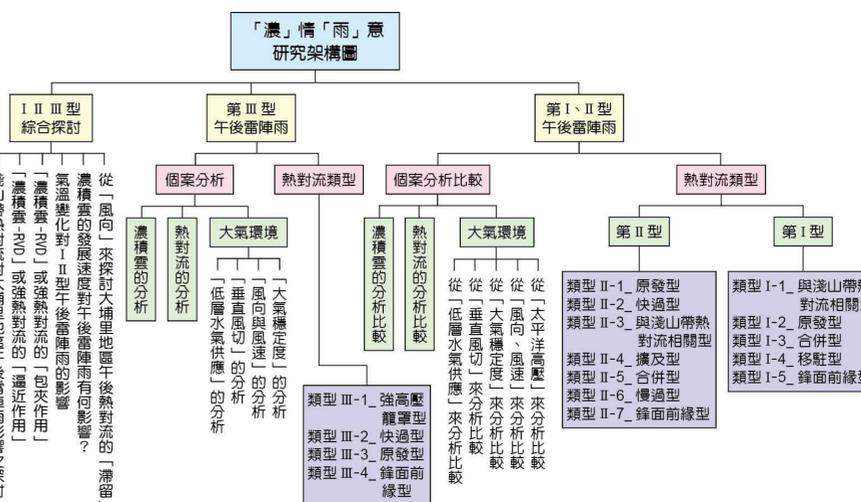


圖15 本次研究之研究架構圖

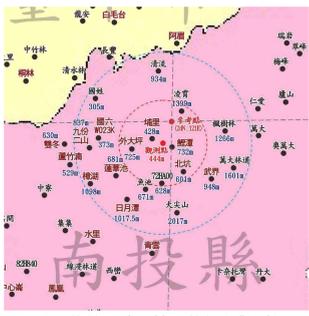
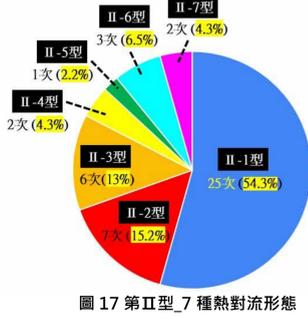
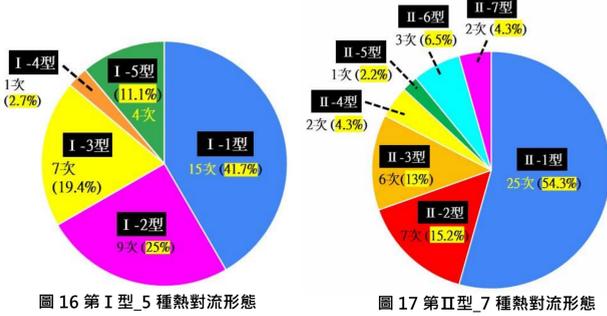
# 伍、研究結果與討論

## 一、大埔里地區第 I 型、第 II 型午後雷陣雨之相關探討

(1).第 I 型：降雨量達到「大雨」標準以上的午後雷陣雨；(2).第 II 型：指累積雨量大於 10mm，但未達「大雨」等級的午後降雨

(一).午後熱對流形態之分析比較

我們總共分析了96個個案，發現造成三種類型午後雷陣雨的熱對流存在著不小的差異性(圖16、17、49)。



午後雷陣雨相關文獻探討

- 題目及作者：「濃」、「卷」、「鋒」- 雲與天氣變化之探討(吳念芸等, 2017)  
摘要：利用濃積雲和卷雲同時出現的AL-FC法則預測午後雷陣雨。
- 題目及作者：暖季弱綜觀下台灣中部午後對流特徵研究(李受恩, 2021)  
摘要：(1).中層副熱帶高壓的位置會影響大氣的穩定度。(2).若位於高壓邊緣，大氣環境會比較不穩定。(3).降水熱區與向岸風遇到的地形相關性高。(4).降水熱區通常位於向岸風的下游處。
- 題目及作者：北台灣午後對流的強降雨事件發展機制(朱韻雅, 2019)  
摘要：(1).探究發生在夏季弱綜觀環境下北台灣午後雷暴強降雨(時雨量大於40mm)機制。(2).結果顯示除了熱力條件外，強降雨現象的發生仍需要更多的動力作用。(3).地形作用下，綜觀尺度的風速及風向是決定午後熱對流位置及雨量強度的重要因素。
- 題目及作者：暖季弱綜觀強迫下中北台灣午後對流的氣候特徵(陳泰然等, 2009)  
摘要：(1).梅雨季(5-6月份)：中台灣的熱對流大多會往東邊的山區移動(或發展)。(2).夏季時(7-8月份)：中台灣的熱對流大多會往東邊山區移動(或發展)，然後再往西邊的平緩地形移動(或發展)。(3).5-8月份，中台灣成熟期熱對流頻率的最大值通常會落在1500LST左右。

## (二).雲況(針對濃積雲)的分析比較(圖43、44)

(1).2023-07-20和2023-07-19這二天早上出現的中、高雲層並沒有對埔里的氣溫造成影響。(2).濃積雲發展的速度：  
①.2023-07-20：濃積雲發展較慢；②.2023-07-19：濃積雲發展速度較快，午後雷陣雨也來得比較早。



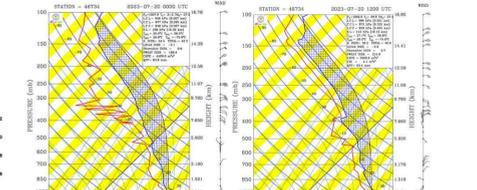
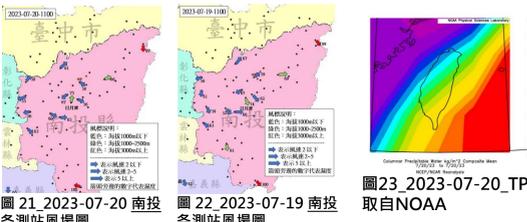
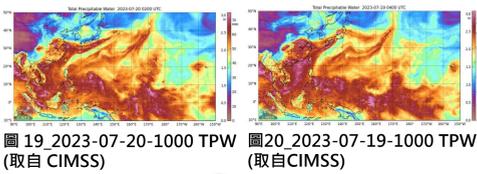
(3).濃積雲-RVD的發展：①.2023-07-20：1220時，西北西、西、西南-南都出現濃積雲-RVD(圖46)；1402時，西北、西南西都出現濃積雲-RVD(圖47)；1710時，由強熱對流發展推知此時埔里應該也被濃積雲-RVD三面包夾。②.2023-07-19：1210時北北東和第三象限都出現濃積雲-RVD(圖45)；1405時僅西方出現。



## (二).個案分析比較(2023-07-20、2023-07-19)

### 【大氣環境的分析比較】

	2023-07-20	2023-07-19
太平洋高壓	位於高壓勢力邊緣	位於高壓勢力邊緣
風向與風速	風向亂、風速偏小	風向亂、風速偏小
大氣穩定度	非常不穩定	非常不穩定
垂直風切	偏小(比7/19大一點)	偏小
低層水氣供應	還算充足(比7/19少一點)	還算充足

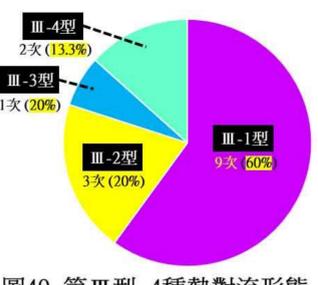


## 二、大埔里地區第 III 型午後雷陣雨之相關探討

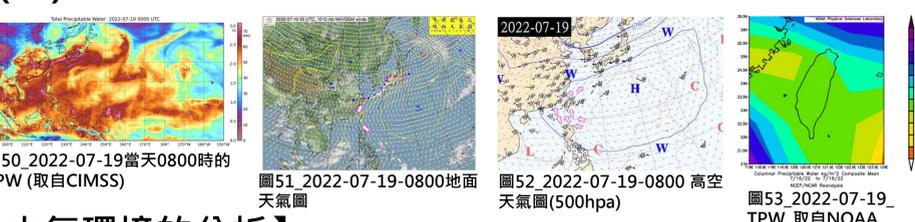
我們把降雨量小於10mm的午後雷陣雨，稱為「第 III 型」午後雷陣雨。

### (一).第 III 型午後雷陣雨的熱對流形態

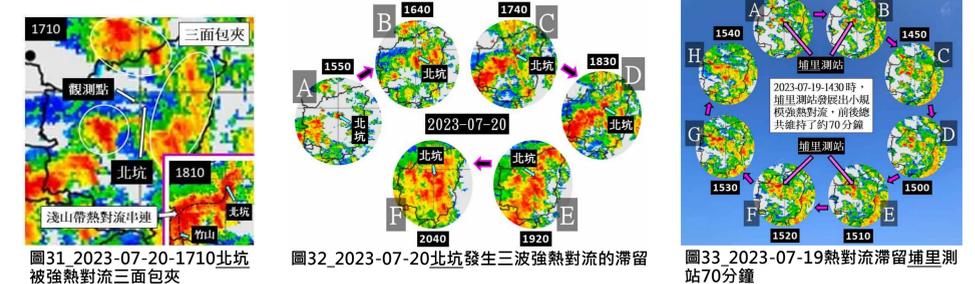
- III-1 強高壓籠罩型。
- III-2 快過型。
- III-3 原發型。
- III-4 鋒面前緣型。



### (二).第 III 型午後雷陣雨之個案分析



### 【熱對流與濃積雲的分析比較】



### 【大氣環境的分析】

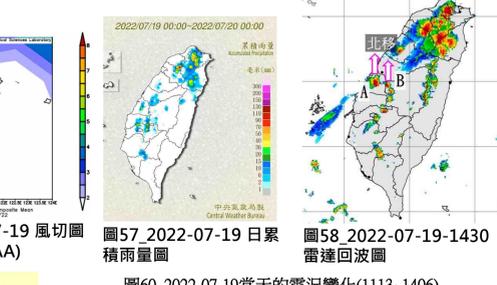
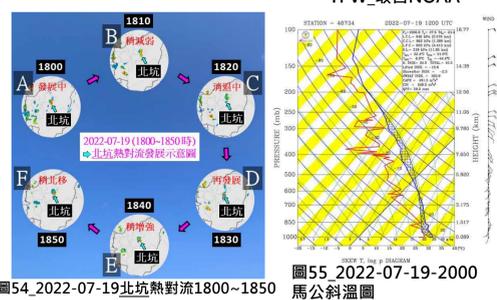
- (1).太平洋高壓籠罩台灣
- (2).南投以偏南風為主。
- (3).垂直風切0。
- (4).低層水氣供應量中等。

### 【熱對流的分析】

- (1).除北部外，全台幾乎沒發展出熱對流。
- (2).熱對流滯留時間都很短。

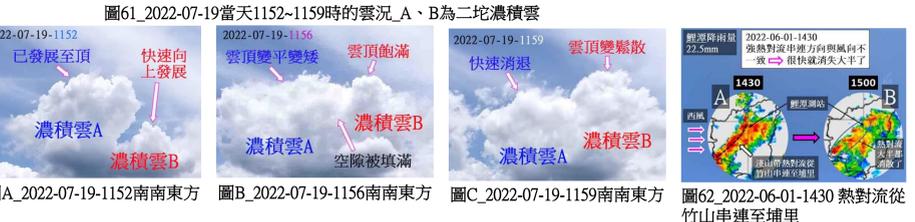
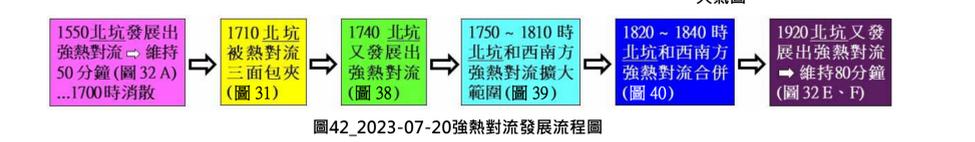
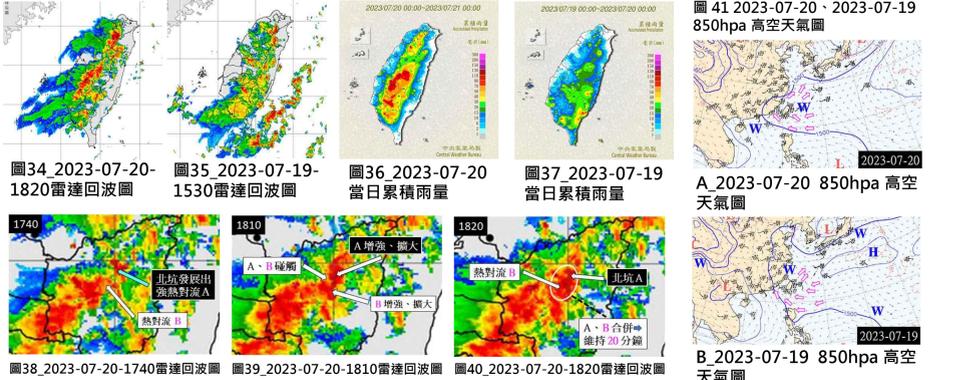
### 【濃積雲的分析】

- (1).濃積雲大多小而分散(圖60A~H)。
- (2).個案分析(圖61)：7分鐘內，竟見證二坵濃積雲的「生」(發展)與「滅」(消退)，可見得大氣環境不利於熱對流的發展。



1.2023-07-20：(1).三波熱對流的滯留(總共滯留約180分鐘)(圖32)；(2).1710時北坑被三面包夾(圖31)；(3).1810~1830時發生熱對流合併(圖32D、39、40)；(4).附近熱對流彼此串連，規模大。

2.2023-07-19：(1).原發型熱對流，共滯留約70分鐘(圖33)；(2).孤立型熱對流，規模小(圖35)。



### 三、大埔里地區 I II III 午後雷陣雨之綜合探討

#### (一).從風向來探討大埔里地區午後熱對流的滯留\_針對偏西南風

1. **風速稍大**：(1).熱對流大多會順著西南風快速移動；(2).舉 2023-07-04(萬大林道)為例來說明：①.在氣流場下游處發生「滯留」與「堆疊」現象；②.降下「豪雨」。(3).對照案例：2022-06-01。2. **風速較弱**：(1).熱對流易發生「滯留」或「堆疊」現象；(2).以2023-08-21(九份二山)為例來說明：①.發生「滯留」與「堆疊」現象；②.降下50.5mm的雨量。

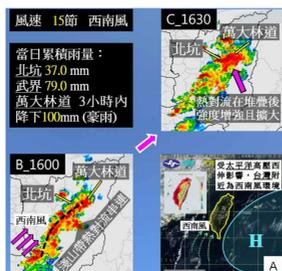


圖63\_2023-07-04 萬大林道發生了「滯留」與「堆疊」現象



圖64\_2023-08-21九份二山的「堆疊」現象



圖65\_2023-08-21-1700 剛要進入堆疊過程



圖66\_2023-08-21-1708 已進入堆疊狀態

#### (二).濃積雲的發展速度對午後雷陣雨有何影響？

(1).我們發現「若濃積雲發展得快速且穩定的話，午後雷陣雨會來得比較早」；(2).舉2022-06-29來說明(圖67)：

表2\_濃積雲發展迅速的相關案例(2023-07-19以外的其他8個案例)

日期	濃積雲發展時間	雲量變化	下雨	日期	濃積雲發展時間	雲量變化	下雨
2022-06-01	1100時→1200時	2.0→9.0	1410	2022-06-23	1100時→1430時	0→8	1530
2022-06-02	0900時→1100時	0→8	1250	2022-06-24	1115時→1408時	1.5→9.5	1410
2022-06-21	1100時→1400時	0.5→9.5	1530	2022-06-29	1008時→1208時	1.0→8.0	1340
2022-06-22	1100時→1400時	0.5→8.0	1530	2022-07-05	1200時→1300時	2.0→8.0	1330

#### (三).氣溫變化對 I II 型午後雷陣雨的影響

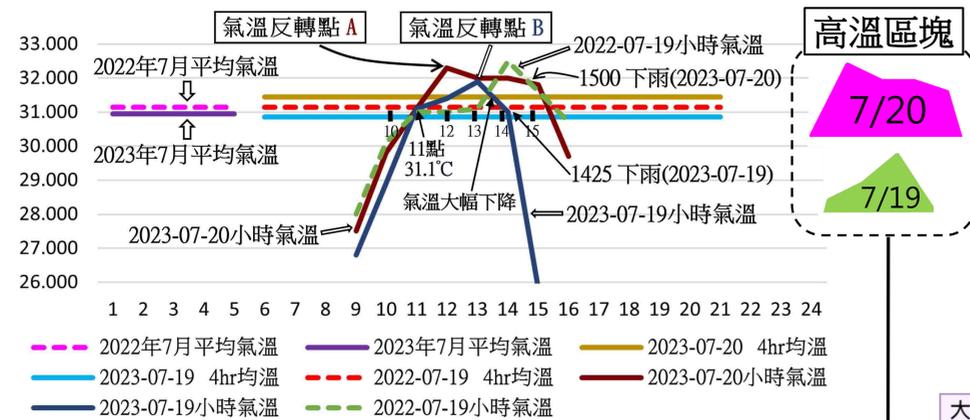


圖 68 氣溫變化對 I II 型午後雷陣雨的影響

針對2023-07-20(I型)和2023-07-19(II型)來分析

(1).0800~1100時的溫度變化：2023-07-19升幅較大、低層水氣充沛，所以濃積雲發展快；(2).氣溫的反轉點：厚濃積雲的發展易使氣溫升幅變慢甚至反轉(下降)；若厚濃積雲發展愈快，氣溫的降幅愈大。(3).降雨前的高溫維持時間：降雨前氣溫愈高且維持愈久，愈可能帶來較大降雨。

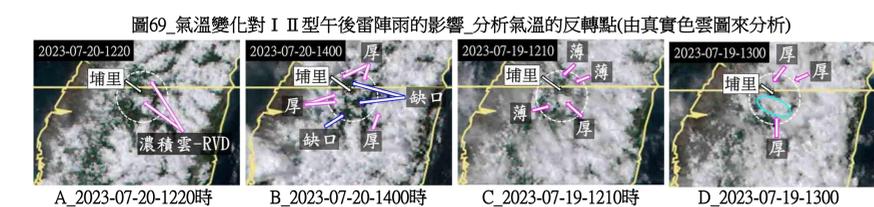


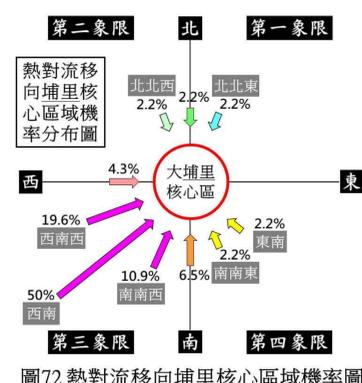
圖69\_氣溫變化對 I II 型午後雷陣雨的影響\_分析氣溫的反轉點(由真實色雲圖來分析)

#### (四).濃積雲-RVD 或強熱對流的「包夾作用」

表3\_濃積雲-RVD(或強熱對流)的「包夾作用」案例(2023-07-20以外的其他6個案例)

日期	包夾→埔里發生熱對流時間	雨量	日期	包夾→埔里發生熱對流時間	雨量
2017-07-15	1650時(南北包夾)→1700時	14.0	2023-06-07	2100時(三面包夾)→2210時	33.0
2022-06-23	1540時(三面包夾)→1600時	34.0	2023-06-29	1420時(三面包夾)→1430時	25.5
2022-06-28	1920時(南北包夾)→1930時	21.5	2023-08-24	1440時(南北包夾)→1510時	38.0

(1).若某地發生「包夾作用」，不久將引發出熱對流而導致降雨。  
(2).以2023-08-24為例來說明：



#### (五).濃積雲-RVD 或強熱對流的「逼近作用」

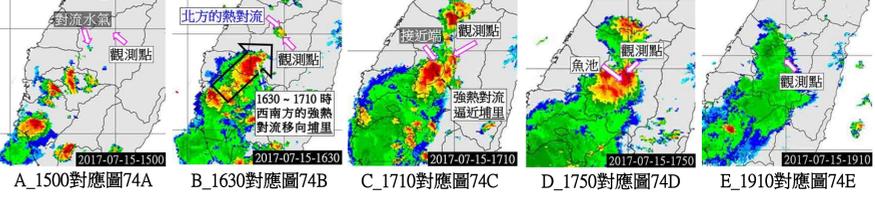
(1).第三象限濃積雲的發展是預測埔里核心區午後雷陣雨的關鍵。

(2).以2017-07-15為例說明(圖73、74)：①.1625~1710時，西南方強熱對流「逼近」；②.1710時，觀測點發展出熱對流並開始下雨。

圖73\_2017-07-15當天的雲況與雨況(1500~1912) 對應圖75



圖74\_2017-07-15當天的雷達回波圖\_熱對流發展與移動過程(1500~1910) 對應圖74



#### (六).淺山帶熱對流對大埔里地區午後雷陣雨影響之探討

(1).若熱對流沿竹山-名間向北串連，兩大多只會下在邊緣地帶；(2).黃金三角：①.在埔里附近有二個熱對流串連路徑最密集的区域—「冬-九黃金三角」與「集-水黃金三角」；②.我們發現後者可預估埔里核心區是否即將迎來較劇烈的午後降雨；(3).可從熱對流進入核心區的方位，預判出降雨熱點。

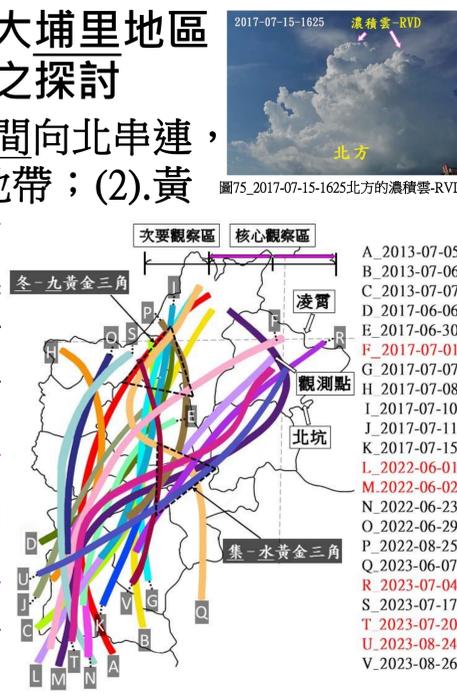


圖 76 南投地區淺山帶熱對流的串連路徑示意圖

### 陸、結論

大埔里地區 I II III 型午後雷陣雨之熱對流形態	文獻比對：無相關研究 本研究新發現：(1).造成第I型午後雷陣雨的熱對流有「與淺山帶熱對流相關型」等5類。(2).造成第II型午後雷陣雨的熱對流有「原發型」等7類。(3).造成第III型午後雷陣雨的熱對流有「強高壓籠罩型」等4類。
大氣環境極類似的午後雷陣雨兩個案之分析比較	文獻比對：無相關研究 本研究新發現：2023-07-20和2023-07-19這二天的大氣環境極為類似，分析比較後發現：(1).2023-07-20當天強熱對流發生了「滯留」、「包夾」、「合併」加上降雨熱點附近有大規模的強熱對流，所以才會降下驚人的雨量；(2).2023-07-19當天的熱對流規模小而分散，雖然滯留了約70分鐘，但是降雨量仍然有限。
風向對午後熱對流的「滯留」有何影響	文獻比對：無相關研究 本研究新發現：(1).風向不一致且風速小時，熱對流會滯留比較久。(2).風向一致時：①.風速稍大：熱對流大多會順著風向快速移動-若移速變慢或滯留時，可能發生「堆疊」現象；②.風速較弱：熱對流較容易滯留(有時會伴隨「堆疊」現象)。
濃積雲發展速度對午後雷陣雨的影響	文獻比對：無相關研究 本研究新發現：若濃積雲發展地既快速又穩定的話，午後雷陣雨會來得比較早。
氣溫變化對 I II 型午後雷陣雨的影響	文獻比對：無相關研究 本研究新發現：(1).厚濃積雲的發展易導致氣溫升幅變慢，甚至反轉(下降)；若發展愈快速，氣溫的降幅愈大。(2).降雨前氣溫愈高且維持愈久，愈可能帶來較大的雨勢。
濃積雲-RVD或強熱對流的「包夾作用」	文獻比對：無相關研究 本研究新發現：若埔里被附近的濃積雲-RVD或強熱對流「包夾」在中間時，不多久就會發生午後雷陣雨。
濃積雲-RVD或強熱對流的「逼近作用」	文獻比對：無相關研究 本研究新發現：(1).移至埔里核心區的熱對流主要來自第三象限。(2).我們可以藉由觀察第三象限的濃積雲-RVD發展的情況來判斷埔里核心區是否即將發生午後雷陣雨。
淺山帶熱對流對大埔里地區午後雷陣雨的影響	文獻比對：無相關研究 本研究新發現：(1).在埔里附近有二個淺山帶熱對流串連路徑最密集的区域，我們稱為「黃金三角」；(2).可以從「集-水黃金三角」預估核心區是否即將迎來較劇烈的午後雷陣雨；(3).可以從熱對流進入核心區的方位，預判出降雨熱點。

### 柒、未來展望

#### 捌、作品說明書圖片來源說明

(1).作者自行拍攝或繪製：圖1~3、5~7、9、11、15~18、21、22、42~47、48(左)、49、59~61、65~68、70、72、73、75、76；(2).取自大氣科學研究與應用資料庫：圖10、12、13、27~41、48(右)、51、52、54、55、57、58、62~64、69、71、74；(3).取自Worldview網站：圖8；(4).取自CIMSS網站：圖19、20、50；(5).取自NOAA網站：圖23~26、53、56；(6).取自《豪雨與豪雪之氣象學》一書：圖14。(7).指導老師提供：封面照片、圖4。

### 玖、參考資料

- 吳念芸等(2017)。「濃」、「卷」、「鋒」—雲與天氣變化之探討。第57屆全國科展。地球科學科
- 李旻恩(2021)。暖季弱綜觀下台灣中部午後對流特徵研究。國立中央大學大氣所碩士論文。
- 朱韻雅(2019)。北台灣午後對流的強降雨事件發展機制。國立台灣大學大氣所碩士論文。
- 陳泰然等(2009)。暖季弱綜觀強迫下中北台灣午後對流的氣候特徵。大氣科學，37，155-194。