

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 地球科學科

第三名

030509

「毛」起來\_卷雲與天氣變化之相關探討

學校名稱：南投縣立宏仁國民中學

作者：  國二 白蕙瑄  國二 陳詠函	指導老師：  蔡永巳  喬緯中
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：卷雲、卷層雲、天氣

## 摘要

關於卷雲與天氣變化的研究，我們得出以下的結論：(1)卷雲出現的頻率並不固定，大多集中在 5~7 月份。(2)「量多時長」部分：①與六種天氣型態比較有關聯性；②形成卷雲的高空水氣全部來自於熱對流系統(包含滯留鋒型熱對流)；③天氣系統靠近台灣時卷雲就會變得比較厚，也愈容易出現積雲。(3)有七種天氣型態會導致卷雲出現「量多時短」的雲況。(4)有三種天氣型態會導致卷雲出現特長外形。(5)熱對流在強勢發展的過程中，容易被強風吹出特長密狀卷雲。(6)不管是「位於鋒面雲帶尾端+高空有強大的氣流」，或者是颱風，都會形成特長脊狀卷雲(前者卷雲條較稀疏，後者較密集)。(7)我們可以由卷雲的分布判斷出颱風的動態。

## 壹、研究動機

一般人只知道埔里好山、好水，卻不知道埔里也有好雲況。埔里屬於盆地地形，林木鬱鬱，流水潺潺，炎夏之季可以仰觀崢嶸發展的濃積雲，冬、春之時更可置身於縹緲如幻的雲海。雲朵每天都會上演不同的戲碼，有時如暴君之狂肆不羈，有時卻又像楊柳般飄逸怡人。在記憶中，雲就像是摯友一樣陪伴著我們成長，它總是耐心地傾聽我們的煩言碎語，隨喜我們的歡樂；而雲朵的詭譎多變，更令我們對它有著深深的好奇心。上了國中，剛好有老師願意指導有關雲的科展，於是就滿懷著期待報名參加了。希望藉由研究雲的過程中，對雲有更深入的了解，並解開雲與天氣變化之間的秘密。

## 貳、研究目的

我們這次的研究實際上包含了卷雲和卷層雲，不過在後文中我們大多會用卷雲來含括卷層雲，為什麼？有二個理由：(1).書寫上的方便、(2).卷層雲的本質也是卷雲。以下是我們的研究目的：

- 一、卷雲發生的頻率以及出現時的雲量、厚度之分析探討
- 二、是什麼樣的天氣導致卷雲出現「量多時長」的雲況？
- 三、是什麼樣的天氣導致卷雲出現「量多時短」的雲況？
- 四、是什麼樣的天氣導致卷雲出現特長外形？

## 參、研究器材與設備

指導老師曾告訴我們說，國外某高等學府在做雲的研究時，會派遣飛機到天空蒐集雲的樣本，即使在國內也會施放探空氣球來蒐集大氣資料，事後這些專家也會針對這些資料做複雜的數學分析。我們現在只是國中生，學校並沒有精密的觀測儀器，而且我們在數理方面的能力也很有限，這樣能做雲的研究嗎？幸好，在老師的協助之下，我們運用有限的設備，以及自己發展出來的分析方法，也獲得了不錯的研究成果。

一般而言，觀察雲只要一張紙、一支筆、一台相機，並戴上一副墨鏡，這樣就可以了。若要對雲做更深入的分析，那還必須加上一台筆電。

除此之外，觀察地點周遭的山頭(圖 4)也是我們得力的工具。怎麼說呢？像大尖山(2017m)和水社大山(2059m)(圖 2)山頂的高度大約都落在 2000m 左右，是我們分辨中雲族和低雲族的重要依據，而卓社大山(3369m)有時在雲類的分析上也很有幫助。

關於筆電或相關的資訊設備方面，平時我們除了用電腦來做文書處理之外，最主要是藉助網路來獲取氣象相關網站的大氣資訊。我們這次研究最常用的氣象網站有三個：(1).中央氣象局全球資訊網：從這個網站取得每日即時的大氣資訊；(2).NASA 的 EOSDIS Worldview 網站：利用這個網站獲取高解析度衛星雲圖和卷雲反射率、雲頂高度、雲光學厚度等大氣資訊；(3).大氣水文研究資料庫：這個資料庫提供了 2009~2021 年期間大量的大氣資訊，這些資料對我們幫助很大，在此致上十分謝意。



圖 1 我們在觀測地點進行雲況的觀察



圖 2 大尖山與水社大山

## 肆、研究過程或方法

關於雲與天氣變化之間的研究文獻，數量並沒有很多，而且大多採用數值分析或電腦模擬的方式。像我們這種藉由觀察雲的過程，以了解雲與天氣變化之間關聯性的實證研究，十分罕見，所以我們必須學會建立自己的研究方法。底下針對我們的研究方法做個簡單介紹：

### (一).觀雲實作

1.場地(觀察地點)的選擇：原則上，觀察雲的場地必須具備空曠、安全，並且方便到達等三個條件。而我們學校的操場，當然就成為不二之選了。圖 1 為我們平時在操場觀察雲的運作方式，一個人負責記錄，一個人負責拍照，最後再一起討論雲況。

2.觀察時間：通常我們一天會觀察雲況 4 次(0800、1100、1400 和 1700 等四個時段)，每次大約 10 分鐘，若遇到特殊的雲況(例如我們這次研究的主角-卷雲)出現時，則會增加觀察的次數和時間。

3.雲量的計算：關於雲量的計算方面，我們採用「十分量」的方式。什麼是十分量呢？十分量就是將整個視野所及的天空（全天）分為十個等分的意思。如果把 10 當作分母(記錄時通常會省略不寫)，那分子就是雲層覆蓋此全天的相對等分數。

4.天空的劃分：將天空做適當劃分最主要的目的就是要將雲做定位。若根據這個劃分方式對雲況加以記錄、拍照，日後要還原當日的雲況就變得容易多了。如圖 3 所示，我們以東西向為 X 軸，南北向為 Y 軸，再將此 X-Y 軸的四個象限向上和半圓球形天空相對應，就可以將天空劃分為四個立體的象限。如果我們以逆時鐘方向，從東北方開始算起，依序為第一、第二、第三和第四象限。我們記錄雲況就是依照這第一到第四象限的順序，拍照時也會依照同樣的順序。

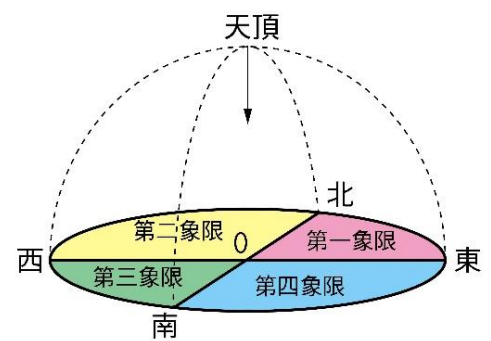


圖3 天空劃分圖

### (二).如何正確地辨別雲類

若要做雲的研究，首先要做的是「能夠正確地辨別雲的種類」。世界氣象組織(WMO)所出版的《國際雲圖集》依照雲底所在的高度，將雲分作四族十屬：

(1).高雲族：雲底高於 6000 公尺。包括「卷雲、卷積雲、卷層雲」等三個雲屬

(2).中雲族：雲底在 2000~6000 公尺之間。包括「高積雲、高層雲」等二個雲屬

(3).低雲族：雲底在 2000 公尺以下。包括「兩層雲、層積雲、層雲」等三個雲屬

(4).直展雲族：雲底一般在下層(但必須在 500 公尺以上)，雲頂則延伸到中層或上層。包括「積雲、積雨雲」等二個雲屬。

其中各雲屬又細分為「主要種類」、「變型」、「副型」和「附屬雲」等等，這些雲類加起來不下數百種。不過，若就實際觀察而言，雲的種類尚不只如此，因為這中間



圖4 埔里附近較高的山頭

還有許多過渡雲種。要學會辨別這些雲類實在不是一件簡單的事情，底下簡述一下我們辨別

雲類的方法與步驟：(1).外觀：辨別雲類的第一個步驟就是從外觀下手，有些雲類具有特定的

外觀，例如①卷雲(絲縷狀)、②卷層雲(一整片的絲縷狀雲)、③某些高積雲(莢狀或雲塊呈棋盤狀排列的高積雲)、④層雲、⑤濃積雲(積雲的一種)、⑥積雨雲。(2).雲高(雲底高度)：若能確定

雲底所在的高度就能大致上知道它是屬於哪一類雲族，所以如何判定雲高就成為判別雲類關鍵中的關鍵；我們常用以下三個方法來判斷雲高：①.山頭參照法：我們會以觀測點附近的山頭高度作為判斷雲高的參考點，如圖 4 所示(圖中紅色☆所在的位置為觀測點)，像大尖山、水

社大山和卓社大山都是我們常用的山頭。②.手指判斷法：將手臂伸直，看看雲塊能被多少根手指遮住，就可以判斷雲的種類！這個方法雖然不是很精確，卻十分方便，且有一定的參考

價值，它常被用來區別卷積雲、高積雲和層積雲這三種雲類。③.使用衛星雲圖：中央氣象局有提供即時的紅外線雲圖，可作為雲高的初步判斷，在特定的時間點也可以用繞極衛星的雲

頂高度圖來做較精確的判斷。在此有一點要說明，衛星雲圖所顯示出來的是雲頂高度而不是雲底高度，若要判別雲的種類，只適用於較薄的雲類，例如高雲族和較薄的中雲族；④.斜溫

圖：我們可以從斜溫圖上的逆溫層與濕度分布狀況，大致判斷出某些雲類所在的高度；關於斜溫圖的應用，下文會有更詳細的說明。(3).雲底樣態：①.陰影：由陰影可以知道雲的厚薄，

也可以用來區別某些雲類，例如高積雲的雲底通常會有陰影，而卷積雲的雲底則沒有；②.平整度：有些積狀雲的雲底很平整，例如積雲，有些則較為鬆散，例如層積雲，這也是判別雲

類的一個重要依據。(4) **維持時間長短**：不同雲類維持在天空中的時間並不相同，有的很長，例如濃積雲，有的非常短，例如卷積雲；我們會根據這個特質來區別高積雲和卷積雲。若是運用了以上的方法都還是判斷不出來，我們會詢問指導老師或附近氣象站(日月潭氣象站)的氣象專業人員。

### (三).斜溫圖(SkewT-LogP 圖)的運用

斜溫圖是被廣泛使用的一種探空熱力圖，我們可以從中獲得許多大氣資訊，例如溫度、濕度、風向、大氣穩定度、CAPE 值等等。斜溫圖對於雲況的分析有著很大的幫助，底下簡述一下我們如何運用斜溫圖：

#### 1.探空測站的選取

這邊所謂的「探空測站」是指有施放探空氣球的氣象觀測站。為什麼要扯到探空測站？因為斜溫圖就是根據探空氣球所蒐集到的大氣資料所繪製而成的。如圖 5 所示，距離埔里最近的探空測站為花蓮氣象站(距離約 65.2km)，其次為台北氣象站(距離約 124.1km)，再其次為馬公機場測站(距離約 150.3km)。至於說要採用哪一個測站的資料，是以風向為最主要考量——看看哪一測站的探空氣球最可能飛近埔里。

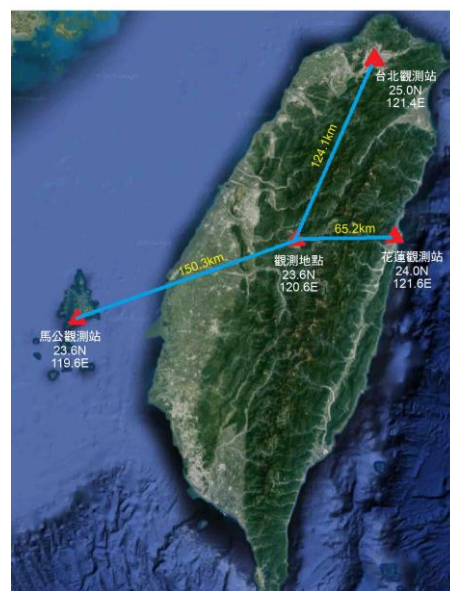


圖5 馬公、花蓮、台北測站位置圖

有時候三個測站的資料都必須一併參考，例如出現大面積的層狀高積雲時。為什麼？因為這是一種比較穩定且連續性分布的雲種，必須同時對三個測站的資料加以分析，才能對這雲況有較全面的了解。

#### 2.決定雲的高度

針對某些特定的雲類，例如層狀高積雲(我們簡稱為 ACS)和高層雲，我們很容易透過斜溫圖得知雲層所在的高度。我們以 2017-01-21 這一天為例來說明：这天早上 0800 時天空出現大量的層狀高積雲，我們由相關天氣學文獻以及學長姊的研究，得知 ACS 通常在逆溫層或強穩定層之下形成，而當天的斜溫圖(圖 6)顯示約在 3500m 處有一逆溫層，且 3100~3500m 這區間濕度非常高，所以我們推測當天早上 0800 時的 ACS 所在的高度應該在 3100~3500m 左右。事後我們根據 Terra 衛星的雲頂高度頻道，得知雲頂的高度落在 3100~4000m 這區間，

和我們的推測十分吻合。

### 3.推測雲對流的強度

直展雲族是最具代表性的對流雲類。直展雲族有二個雲屬，一個是積雲，另一個是積雨雲。通常積雨雲必須與它保持相當遠的距離才容易看清它的全貌，不太容易研究。而積雲的五個主要種類當中，我們特別注意濃積雲，為什麼？因為濃積雲不但容易觀察，而且積雨雲也是由濃積雲發展出來的。所以若要對對流雲系的運作原理有所了解，最好從濃積雲下手。

我們通常會由「大氣穩定度」和「對流可用位能(CAPE)」這二個面向下手，來推斷雲對流的強度。現在舉 2013-07-05 這一天為例來說明如何由斜溫圖推測雲對流的強度。由圖 7 可以看出 2013-07-05 當天早上上方大氣從 1700~5200m 左右處於不穩定狀態，5200~7100m 區間處於中度穩定狀態，而當時的 CAPE 值為 2260.6(CIN 值只有 50.1)，再配合所觀察到的雲況，研判當天下午應該會有極猛烈的午後雷陣雨。果然，在 1500 時左右降下強大的雨勢，日月潭氣象站在短短的 1 小時內降下了 80mm 的雨量。

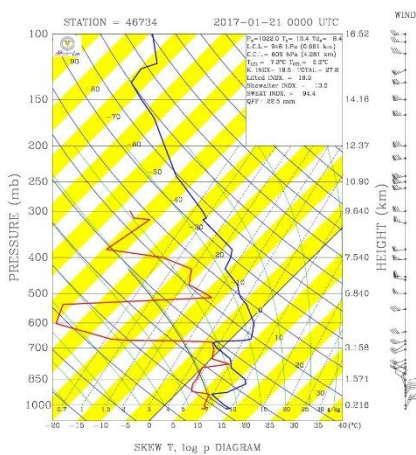


圖 6 2017-01-21-0800(馬公斜溫圖)

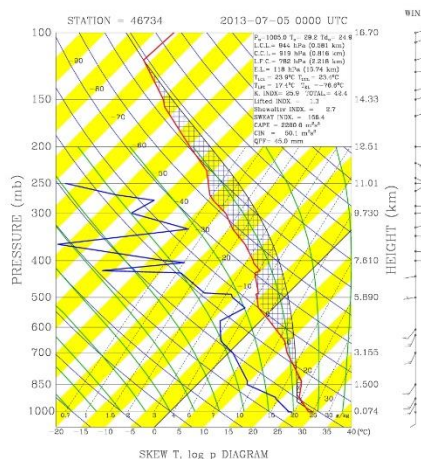


圖 7 2013-07-05-0800(馬公斜溫圖)

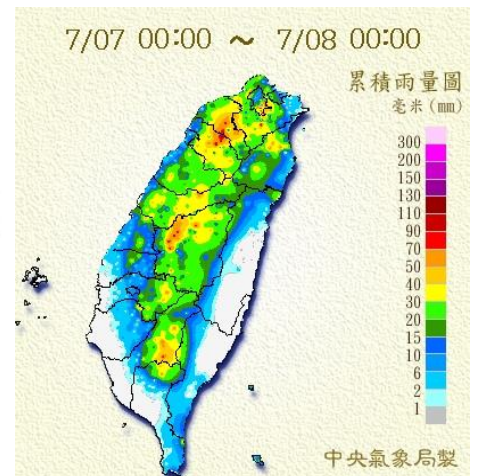


圖 8 2017-07-07(單日累積雨量)

### (四).氣象衛星的運用

我們最常使用中央氣象局的衛星雲圖，而這些衛星雲圖則是來自於日本的向日葵 8 號 (Himawari-8) 衛星。向日葵 8 號是一顆同步衛星，雖然可提供即時的影像，但是因為它實在距離地面太遠，解析度不是很高。所以，我們這次的研究也採用了 NASA(美國 國家航空暨太空總署)的繞極衛星(Terra、Aqua 和 Suomi NPP 衛星)資料，這三顆衛星除了可以提供較清晰的雲圖之外，也可以提供許多和雲相關的大氣資料。底下簡述一下我們如何把這三顆繞極衛星的資料運用在我們的研究上：

## 1.由雲頂高度來判斷雲的種類

前面在「辨別雲類的方法與步驟」中有提到利用繞極衛星來判斷雲高，而此「繞極衛星」指的就是 Terra、Aqua 和 Suomi NPP 三顆衛星。Terra 衛星的飛行高度約 720 公里，每天分別約於 10：40 與 20：40 通過台灣上空，我們採用的是 10：40 這一個時間點；Aqua 衛星的飛行高度約 705 公里，每天也有二個時段通過台灣上空，我們採用的是 13：00 左右的這個時段；至於 Suomi NPP 這一顆衛星留待後文再介紹。判斷雲頂高度的頻道來自於 Terra 和 Aqua 衛星所搭載的 MODIS 探測器。MODIS 的英文全名為 Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer，翻作「中分辨率成像光譜儀」，是搭載於 Terra 和 Aqua 衛星上的一個重要感測器。MODIS 總共提供了 36 個頻道，具有極強大的遙測能力。

我們現在舉 2016-11-26 這一天的雲況為例，來說明如何運用雲頂高度圖來辨別雲的種類：這一天的雲況很特殊，大概從 0900 開始就出現許多網狀卷積雲，再接下來的 2 小時中又不斷地出現高積雲。快到 1100 時，整個天空的雲塊都變得很小，我們已經很難區別哪些是高積雲，哪些又是卷積雲。事後，我們查了一下 Terra 衛星的雲頂高度圖，這個問題才獲得解決。

圖 9 是 Terra 衛星的真實色雲圖(埔里位於圖片的正中心)，由此圖可以大致看出雲朵的外形，而圖 10 則是同時段的雲頂高度圖。由圖 10 可以清楚地看出左上角的雲頂比較低，應該是高積雲，而右下角雲頂比較高的部分，則是卷積雲。



圖 9 2016-11-26-1040 (Terra 真實色衛星雲圖)



圖 10 2016-11-26-1040 (Terra 雲頂高度圖)

註 1：圖 10 的雲頂高度可以用色塊棒  來判斷。黃色為 4800~5600 m，往右的色塊依序加 800m，往左則依序減 800m。

## 2.用 Suomi NPP 衛星的卷雲反射率頻道來分析卷雲的形態

Suomi NPP 是一顆繞極衛星，英文全名為 Suomi National Polar-orbiting Partnership，翻作「索米國家極地軌道夥伴」衛星，飛行高度約 825 公里，每天也會有二個時段通過台灣上空，



我們採用的是 12：30 左右的這個時段。Suomi NPP 衛星共搭載了五個科學儀器，其中的可見光/紅外線成像輻射儀(Visible Infrared Imaging Radiometer Suite，VIIRS)有卷雲反射率的頻道。

為什麼 VIIRS 可以識別卷雲呢？VIIRS 是比 MODIS 更先進的第二代中分辨率影像輻射計，總共有 22 個波段，其中的 M9 波段的波長為  $1.378 \mu\text{m}$ ，這波段主要對應於水氣的強吸收帶，當大氣有足夠多的水氣時，地面的反射大部分會被水氣吸收，不能到達傳感器上。不過，高雲上方的水氣量相對較少，因此來自高雲的反射可以很好地被探測到，從而識別出卷雲(夏浪等，2013)。

卷雲反射率與卷雲的光學性質(包括光學厚度、單次散射反照率和散射相函數)、太陽天頂角、觀測天頂角和相對方位角有關，其中以「光學厚度」對卷雲的反射率影響最大(趙鳳美等，2018)。所以我們除了根據卷雲反射率頻道來確定是否有卷雲存在之外，也可以利用這個頻道得知卷雲的厚度。圖 11 上方所顯示的就是卷雲反射率的色塊棒，我們只要把滑鼠游標點到目標位置，色塊棒上就會顯示出相對應的數字。

實際上若遇到比較棘手的雲況時，我們還會採用更多的衛星資料來做比對，例如：(1).雲光學厚度(Cloud Optical Thickness)頻道：圖 11 下方所顯示的就是雲光學厚度頻道的色塊棒，這個色塊棒除了會顯示出雲的厚度之外，也會顯示出是冰相(Ice Phase)雲還是水相(Water Phase)雲。(2).雲多層標誌(Cloud Multi Layer Flag)頻道：根據這個頻道我們可以得知目標區塊是「單一雲層」還是「多個雲層」，在本次研究中，運用這個頻道可以讓我們更精準地辨識出卷雲。

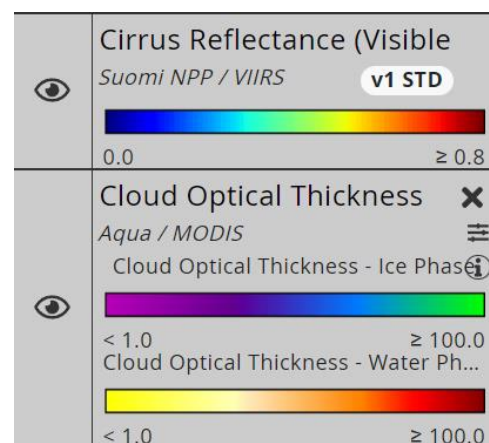


圖11 色塊棒(卷雲反射率+雲光學厚度)

## (五).本次研究的研究架構

卷雲是最容易辨別的雲類之一，但若要分析它與天氣變化之間的關聯性卻沒有想像中的那麼容易！為什麼？(1).卷雲有太多的變化性；(2).我們無法拿到即時的、且足夠多的高空大氣數據；(3).不管是國內或國外，有關於卷雲的實證研究都非常少見。那該如何著手呢？我們嘗試把問題單純化，只聚焦在「出現特殊雲況時的卷雲」，看看能不能找出它和天氣變化之間的關聯性。圖 12 就是我們這次研究的研究架構圖。

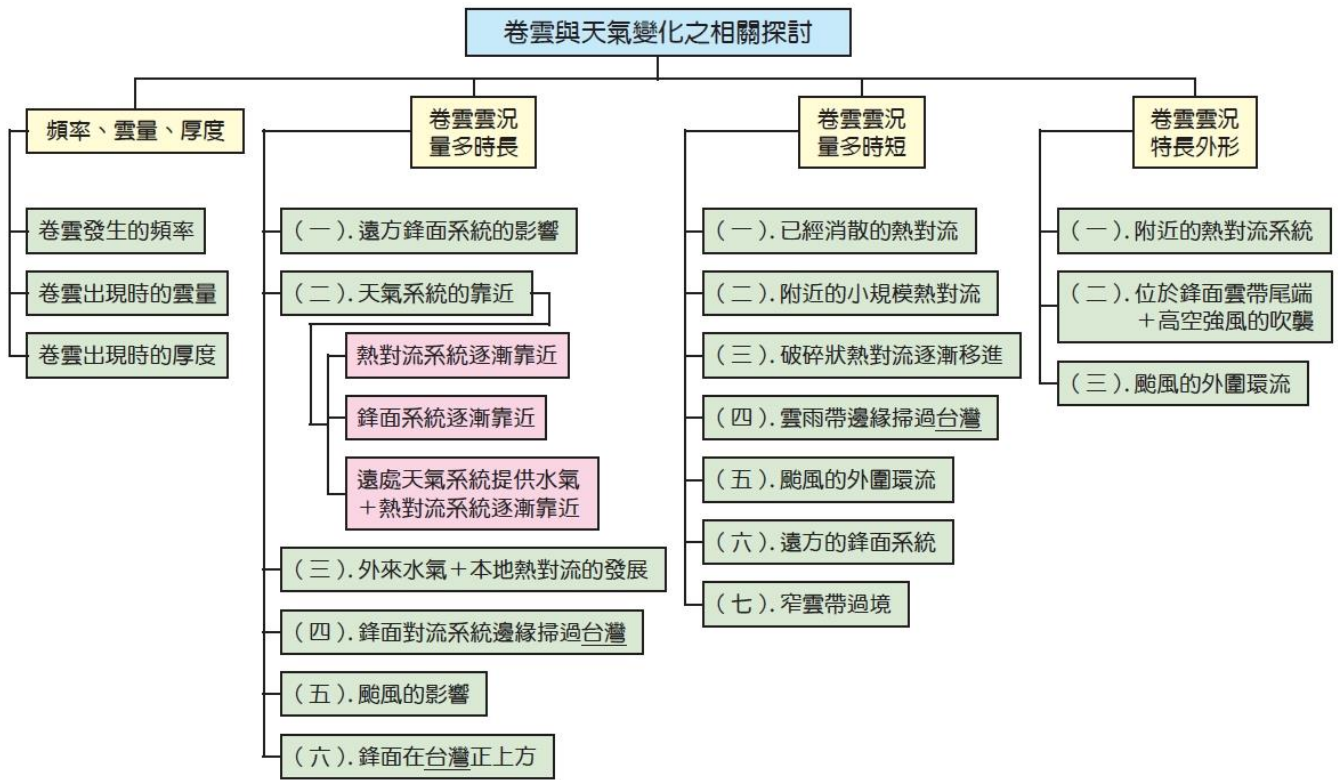


圖 12 本次研究之研究架構圖

## 伍、研究結果與討論

「卷雲」是我們這次研究的主角，它有以下幾個特徵：(1).雲底大多高於 6000 公尺；(2).以絲縷狀為主，少部分會以堡狀、絮狀或團狀出現；(3).有些卷雲會呈現出絲質光澤。至於卷雲的形成方式，目前並沒有定論，不過可以確定的是，卷雲幾乎都是由冰晶所構成的(卷雲的絲縷狀結構就是冰晶掉落過成中所形成的冰晶雨旒)。底下根據我們的四個研究目的，依序呈現我們的研究結果，並針對某些特殊情況作深入的探討。

### 一、卷雲發生的頻率以及出現時的雲量、厚度之分析探討

#### (一).卷雲發生的頻率

我們以及學長姊總共對雲況做了 1170 天(到 2023-06-01 為止)的觀察，其中有出現卷雲的天數是 185 天，有觀察到卷雲的次數是 423 次(有時一天之內卷雲不只出現 1 次)。如果以年度來看它出現的頻率的話(參考圖 13)，53 屆是 0.19，54 屆是 0.11，57 屆是 0.22，61 屆是 0.10，62 屆

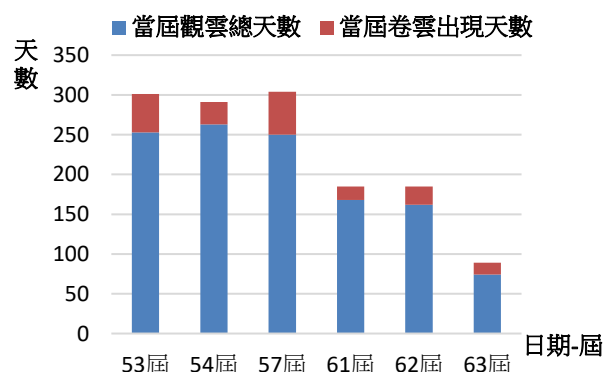


圖13 各屆出現卷雲的比率

是 0.14，63 屆是 0.20。卷雲平均出現率是 0.16，也就是說大約平均 6.25 天會出現一次。不過，實際上卷雲出現的頻率應該會高於這個數字，為什麼？因為我們無法觀察到出現在其他雲層上方的卷雲(這時只能藉由衛星雲圖來判斷)。

其次，我們由圖 14 得知卷雲出現的頻率並不固定，有時候很集中，例如 3、5、6、7 四個月份，有時候很稀少，例如 4 月份；為什麼 3、5、6、7 四個月份卷雲會出現這麼頻繁？我們推斷應該是跟熱對流的發展(單純的熱對流或者是鋒面系統的熱對流)有密切關係，下文會有較深入的探討。

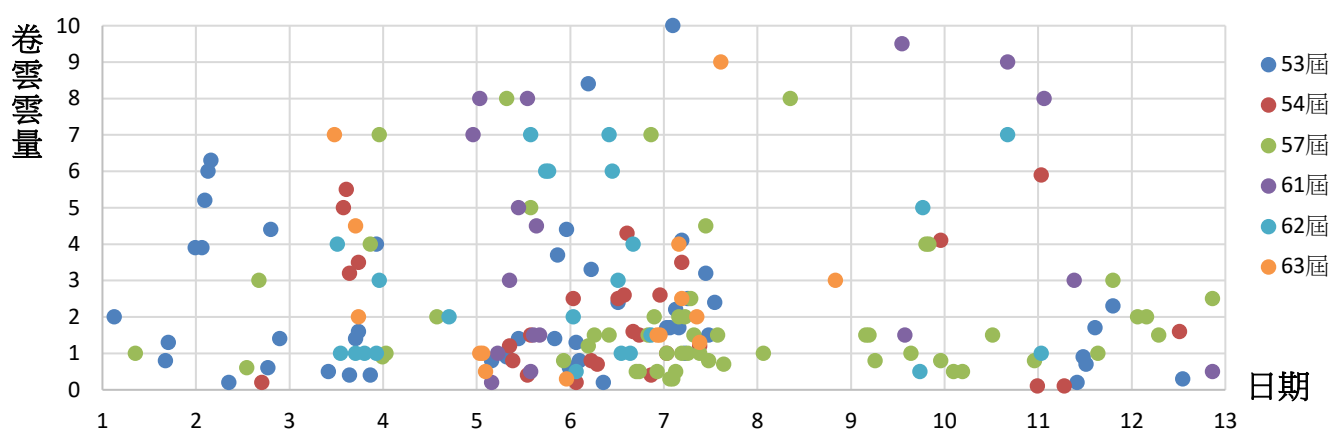


圖14 有卷雲出現的日子及其雲量

註 2：各屆對雲況觀察的時間如下：(1).53 屆：2012-11-05~2013-08-16；(2).54 屆：2013-09-30~2014-07-12；(3).57 屆：2016-11-18~2017-11-02；(4).61 屆：2020-09-17~2021-05-24；(5).62 屆：2021-09-23~2022-06-27；(6).63 屆：2022-06-28~2023-06-01。

註 3：在圖 14 的橫座標中，1~12 分別表示 1~12 月。

## (二).卷雲出現時的雲量

由圖 14 可以粗略看出卷雲出現時的雲量並不大，我們初步統計一下，得知卷雲出現時的平均雲量是 2.55，高標(取前半的平均)是 4.22，低標是 0.88，也就是說卷雲出現時的雲量大多在 3 以下。在此我們也發現一個很有趣的現象，卷雲出現頻率最高的月份通常也就是卷雲雲量超過高標最多的月份。由於雲量的多寡和周遭的天氣系統有著密切的關係，所以底下就專門為卷雲雲量擬出二個研究目的，做更深入的探討。

## (三).卷雲出現時的厚度

關於卷雲出現時的厚度，我們主要參考 Suomi NPP 這一顆繞極衛星的卷雲反射率頻道。在後文的分析中我們還會一併運用「雲光學厚度頻道」。前面有提到趙鳳美等人認為雲光學厚

度對卷雲反射率影響最大，所以我們就用卷雲反射率色塊棒上所對應的數字來代表卷雲的厚度(註 4)，統計出卷雲反射率的平均值為 0.19，高標值為 0.31。合併分析圖 14 和圖 15，**我們得知卷雲出現最多次的月份，通常也是卷雲雲量最多的月份，更是出現厚卷雲最多的月份。**

至於說為什麼厚卷雲都集中出現在這幾個月份，接下來的二個研究目的有詳細的說明。

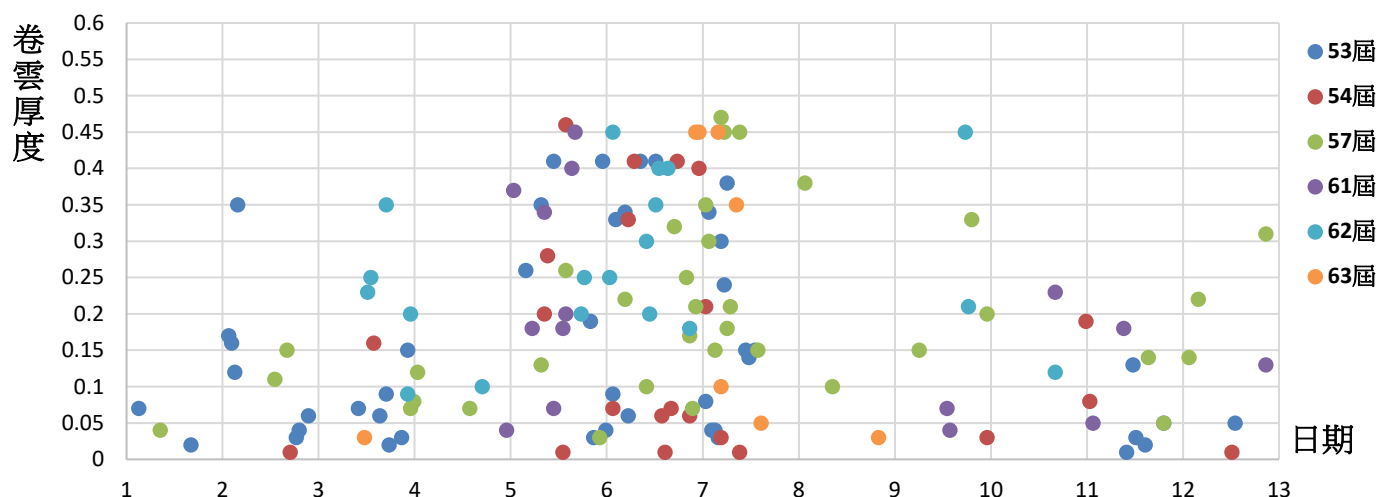


圖15 有卷雲出現的日子及其厚度

註 4：在圖 15 中的橫座標中，1~12 分別表示 1~12 月，縱座標則是卷雲反射率的數值。因為 Suomi NPP 衛星大約於每天 12：30 左右通過台灣，所以圖上所表示的數字是當天 12：30 左右的卷雲反射率(實際上只有 145 天，因為有 40 天在 12：30 時沒有出現卷雲)。

## 二、是什麼樣的天氣導致卷雲出現「量多時長」的雲況？

表 1 卷雲出現「量多時長」的雲況時\_相關的雲況及天氣狀況之說明

日期	卷雲雲況及相關天氣狀況之說明
2013-07-03 (一)類型	(1).當天主要雲況變化：纖維狀卷層雲 10→纖維狀卷層雲 10(薄)→纖維狀卷層雲 1.6+濃積雲 2.2→灰白雲 10。(2).卷雲水氣源頭：①.近源：台灣東北部外海；②.遠源：遠方的鋒面系統(山東-日本海)。(3).風向：東北風(200hpa)、東南風(850hpa)。(4).卷雲高度：大多高於 12000m。(5).鋒面說明：鋒面左半部是滯留鋒，右半部是冷鋒，強對流集中在左半部。
2020-09-17 (一)類型	(1).當天主要雲況變化：雜亂卷雲 9.5(薄)→卷雲 9.5(薄)→卷雲 4→卷雲 4。(2).卷雲水氣源頭：浙江的小規模對流(此對流位於滯留鋒左端)。(3).風向：風向在台灣北部外海做了一個大轉彎，以順時針方式把高空水氣帶進台灣(200hpa)、東南風(850hpa)。(4).卷雲高度：大多在 12000m 以上。(5).鋒面說明：①.純滯留鋒面；②.位置與長度：江西-浙江-日本九州-日本本州東方海面。
2022-07-19 (一)類型	(1).當天主要雲況變化：卷雲+卷層雲 9→卷雲+卷層雲 7(薄)→(1315：積雲 5，卷雲+卷層雲 4，卷雲厚度薄)；(1400：積雲 6.5+卷層雲 3)→□。(2).卷雲水氣：①.近源：台灣東北方外海；②.遠源：位於日本海的鋒面熱對流系統。(3).風向：東北風(200hpa)。(4).卷雲高度：大於 12000m。(5).鋒面說明：①滯留鋒(左半)+冷鋒(右半)；②.位置與長度：安徽-杭州灣-本州左側的日本海。(6).其他說明：0800 出現日暈，一直維持到 1300 左右，可見得雲層不厚。
2017-02-21 (二)-1 類型	(1).當天主要雲況變化：0→0(1100)、卷雲 3(1200)→卷雲+厚卷層雲 6(1300)→卷雲+卷層雲>5(1600)、灰白雲 10(1700)。(2).卷雲水氣源頭：台灣西南方不遠處的外海。(3).風向：西南風(300hpa)、東南風(850hpa)。(4).卷雲高度：大多落在 9000~10000m 之間。

2017-05-10 (二)-1 類型	(1).當天主要雲況變化:密卷雲 2(0830)→纖維狀卷雲 7(厚度中等)、卷層雲 9.5(1200)→纖維狀卷雲 8(厚度中上)→以高層雲為主。(2).卷雲水氣源頭:海南島附近海域的小規模強對流雲系。(3).風向:西南風(300hpa)、東南風(850hpa)。(4).卷雲高度:大多落在 10000m 左右。
2017-05-18 (二)-1 類型	(1).當天主要雲況變化:卷雲 5.0→卷雲 4.5(1000)、卷雲 5(1040, 厚度中等)→卷雲 5(1330, 厚度中上)、濃積雲 7.0(1400)→灰濛濛一片 10。(2).卷雲水氣源頭:福建及其沿海的小熱對流群。(3).風向:西風(強)(200hpa)、北北東轉東北風(850hpa)。(4).卷雲高度:大多落在 12000m 左右。
2022-06-01 (二)-1 類型	(1).當天主要雲況變化:卷雲 2+高積雲 2.5→卷雲 5.5(有許多密卷雲)+積雲 2→灰白雲 10(高空的高雲族約佔 7~8 成, 下層有濃積雲在發展)→卷雲 2+積雲 5。(2).卷雲水氣源頭:位於台灣海峽的小規模熱對流。(3).風向:西風(200hpa)。(4).卷雲雲高:大多大於 12000m。(5).熱對流說明:①.清晨時有一小規模熱對流在台灣海峽發展起來, 0400 時達到最巔峰, 接著就慢慢消散掉了;②.0900 時, 同一地點附近又有另一波熱對流發展起來, 並逐漸向台灣靠近;③.1400 時, 中部地區也發展出熱對流了。
2022-05-23 (二)-2 類型	(1).當天主要雲況變化:薄卷雲 or 卷層雲 6+高積雲 2→卷層雲 10(由照片可以看出雲層變厚, 下層也發展出一些鬆散的積狀雲)→卷層雲 10→□。(2).卷雲水氣源頭:福建一帶的滯留鋒面型熱對流。(3).風向:西風(300hpa)。(4).卷雲高度:大多位於 10000~11000m 左右。(5).鋒面說明:①.滯留鋒;②.0800 時位於福建-廣東沿海一帶;0800~1400 往台灣靠近一些, 1400 以後又後退, 遠離台灣。
2013-06-06 (二)-3 類型	(1).當天主要雲況變化:卷層雲 8.4(厚)+層積雲→天空幾乎都是高雲族(1040, 厚度薄)、卷雲+卷層雲 5.4(1100)→以高雲族為主 (1300, 厚)→□。(2).卷雲水氣源頭:①.近源:福建上空的小規模熱對流雲塊;②.遠源:湖北南部的滯留鋒面雲帶。(3).風向:西北風(300hpa)、從東風逆時針轉成南南西風(850hpa)。(4).卷雲高度:大多高於 10000m。
2021-05-20 (二)-3 類型	(1).當天主要雲況變化:以卷積和卷層雲為主→ACS5+卷雲 2(薄)→高雲族布滿天空(厚度中等佔 2/3, 厚佔 1/3)→灰白雲布滿天空(高雲族+濃積雲)。(2).卷雲水氣源頭:①.近源:福建地區的一個小規模熱對流;②.遠源:在廣西-湖南一帶的強熱對流(滯留鋒面所造成)。(3).風向:西北西風(200hpa)、西南風(850hpa)。(4).卷雲高度:大多在 12000m 以上。(5).鋒面說明:①.日本九州附近有一低壓中心, 從這低壓中心向左延伸出一條鋒面直到中國廣西;②.此鋒面左段為滯留鋒, 右段為冷鋒, 今天的高空水氣主要是來自左段的滯留鋒面;③.此滯留鋒面一整天幾乎都沒有移動。
2022-06-14 (二)-3 類型	(1).當天主要雲況變化:灰白雲 8.5(中、高雲族都有)→卷雲+卷層雲 6(厚度中上)→積雲 8.5(以濃積雲為主)→灰白雲 10。(2).卷雲水氣源頭:福建南部的強大熱對流。(3).高空風向(200hpa):在福建為西風, 快到台灣時轉成西南風。(4).卷雲高度:Terra:卷雲高度大多大於 12000m, 雲量 10, 厚度中等~中上;Aqua:卷雲高度大多大於 11000m, 整個台灣都是卷雲, 厚度中等~中上。
2017-07-09 (三)類型	(1).當天主要雲況變化:卷雲+卷層雲 5→卷雲+卷層雲 10(厚度中下)→卷層雲 7(厚度中等或中上)→灰白雲布滿天空。(2).卷雲水氣源頭:①.近源:台灣東北部外海;②.遠源:日本九州的滯留鋒(此滯留鋒很長, 全長有 3、4 千公里, 從湖北連到日本九州, 再延伸到太平洋)。(3).風向:熱對流源地為西北風, 順時鐘轉動, 到台灣變成東北風(200hpa)、東南風(850hpa)。(4).卷雲高度:大多在 12000m 以上。(5).其他:有日暈;馬公 CAPE 值 1089.8。
2021-05-01 (三)類型	(1).當天主要雲況變化:卷雲+卷層雲 8(以卷層雲為主, 厚度中下)→卷雲+卷層雲 7(1100, 厚度中等)→以高雲族為主(1300 時, 從很薄到中等都有)、灰白雲 10(1400)→ACS 7。(2).卷雲水氣源頭:近源:台灣西南海域;②.遠源:寮國與中國交界處的熱對流 (3).風向:熱對流源地為西風, 到台灣時轉成西南西風(300hpa)、東南風(850hpa)。(4).卷雲高度:大多落在 11000m 左右。
2013-02-05 (四)類型	(1).當天主要雲況變化:卷層雲 6.3(厚)→高雲族 10(厚度中等)+蔽光高積雲 1.5→高雲族 10(1300, 厚度中上)、淺灰白雲 10(1400, 應該是高層雲)→淺灰白雲 10(應該是高層雲)。(2).卷雲水氣源頭:西南外海的熱對流(屬於鋒面對流雲系的後段邊緣)。(3).風向:西南風(風速強)(300hpa);東南風進來, 再順時針轉成南南西風出去(850hpa)。(4).卷雲高度:大約在 9600m 左右。(5).鋒面說明:①.很長, 由福建延伸到日本東北方外海, 福建這一小段為滯留鋒, 其餘都是冷鋒;②.0800 時鋒面有一部分很接近台灣(滯留鋒的左端一直沒有移動), 1400 時又退回去福建, 且斷成一小截。
2022-03-17 (四)類型	(1).當天主要雲況變化:積狀雲 7→卷雲 1+高積雲 4→卷雲 5(其中密卷雲 2)→薄卷雲+卷層雲 8。(2).卷雲水氣源頭:福建、廣東沿海一帶的熱對流(屬於鋒面對流雲系的下端邊緣)。(3).高空風向:西南轉西南西風(300hpa)。(4).卷雲高度:大約落在 10000m 左右。(5).鋒面說明:①.滯留鋒;②.鋒長:浙江-湖南;③.強熱對流集中在浙江以東。(6).其他說明:今日台灣位於鋒面前暖區(氣象局)。

2020-10-21 (五)類型	(1).當天主要雲況變化：卷層雲 9.0→卷層雲 10(1040，厚度中等~中上)→高雲族 10(1300，厚度中上~厚)、灰白雲 10(1400)→□。(2).卷雲水氣源頭：沙德爾颱風外圍環流的水氣。(3).風向：台灣附近海域是西南風(200hpa)、東南轉成西南風(850hpa)。(4).卷雲高度：Terra：卷雲高度大多大於 12000m。(5).0800 時，輕度颱風沙德爾(SAUDEL)位於台灣南南西方海域約 710 公里。
2022-05-24 (六)類型	(1).當天主要雲況變化：卷層 or 卷雲 6+高積雲 2→灰白雲 10(高雲族布滿天空)→灰白雲 10(以中雲族為主)→灰白雲 10。(2).卷雲水氣源頭：廣東和江西交界附近的熱對流。(3).高空風向：西風(200hpa)。(4).卷雲高度：Terra：卷雲高度大多大於 12000m，雲量 10；Aqua：卷雲高度大多位於 10000~11000m 左右，高雲族=5。(5).鋒面說明：①.滯留鋒；②.0200 碰觸台灣；0800~2000 滯留在台灣中部上空。

註 5：雲況記錄說明：(1).2012~2014 年取「0900→1200→1500→1800」四個時段，2015 年以後取「0800→1100→1400→1700」四個時段；(2).為了方便分析，只取該時段的主要雲況。

註 6：水氣源頭方面：「近源」是指在台灣附近的卷雲水氣源頭；「遠源」是指跟近源有連結的遠方天氣系統。

註 7：我們對於卷雲雲層厚度的界定是以 Worldview 網站上的「雲光學厚度頻道」為準，將「雲厚度對照色棒」等分成 4 個區塊(薄→中等→厚→超厚)。

註 8：為了記錄上的方便，我們把成片的、且雲量大於 4 的高積雲，稱作 ACS。

註 9：表中關於風向的判斷方面：(1).我們是綜合參考「衛星雲圖的連續性走向」、「斜溫圖」和「高空天氣圖」，再做最後的決斷；(2).高空風：「高度」是參考「卷雲所在高度」，「風向」取高空水氣接近台灣時的風向；(3).低空風：一律取 850hpa 這個高度，而「風向」取低空水氣吹進台灣的方向。

「量多」是指卷雲雲量大於 5 的意思。為什麼是取 5 這個數值？有二個理由：(1).根據前面對卷雲雲量的分析，雲量 5 剛好跨過高標；(2).雲量 5 以上表示它佔據了一半以上的天空，成為那個時間點最主要的雲況，這時的卷雲和附近的天氣系統應該會有較高的關聯性。

「時長」是指卷雲維持時間大於 3 小時的意思。為什麼是 3 小時？有二個理由：(1).因為大部分的卷雲都不厚(參考圖 15)，在陽光的照耀下都不能維持很久；(2).我們一天通常會觀察 4 次雲況，每次間隔 3 小時。所以，我們以卷雲只出現在一次的觀察時間點為「時短」，連續二次觀察時間點都有出現為「時長」。為什麼不取連續三個觀察時間點？因為這種例子非常少，不太容易分析探討。

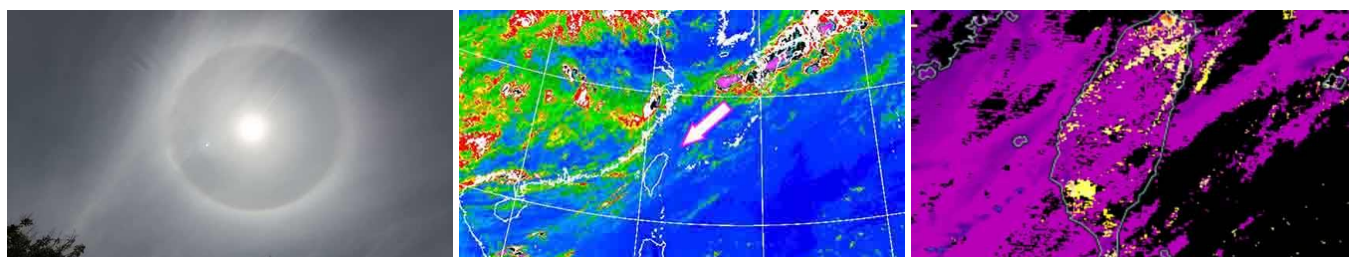
## 【結果】

我們從 1170 天的雲況觀察中，發現導致卷雲出現「量多時長」雲況的天氣可大致分為六類(參考表 1)：(1).遠方鋒面系統的影響、(2).天氣系統的靠近、(3).外來水氣+本地熱對流的發展、(4).鋒面熱對流系統邊緣掃過台灣、(5).颱風的影響、(6).鋒面在台灣正上方。底下針對這六種天氣類型再做詳細的說明：

(一).關於「遠方鋒面系統的影響」這部分：我們的界定是「遠方鋒面系統所發展出來的熱對流並沒有向台灣靠近，單純只是提供高空的水氣」。我們有三個實例：2013-07-03、2020-09-17、2022-07-19 這三天。這三天的鋒面系統，一個是純滯留鋒，另二個是冷鋒加上滯留鋒。這三個鋒面系統不管距離台灣遠近，它們的主結構都沒有向台灣移近，只是所發展出來

的熱對流水氣被高空的強風吹來台灣。在這種情形下所形成的卷雲或卷層雲，厚度都不厚。我們以 2022-07-19 這一天為例：(1).圖 16A 是我們在當天 1014 時所拍攝到的日暈(0800 時出現日暈，一直維持到 1300 時左右)，可見得雲層相當薄；(2).圖 16B 是當天 1100 時的色調強化雲圖，由雲圖的連續動畫，可以看出最根本的水氣來自遠方的鋒面對流系統；(3).圖 16C 是 Terra 衛星的雲光學厚度圖(約 1040 時)，由此圖可以看出雲層相當薄。

圖 16 2022-07-19 這一天相關的天氣圖和實拍照片

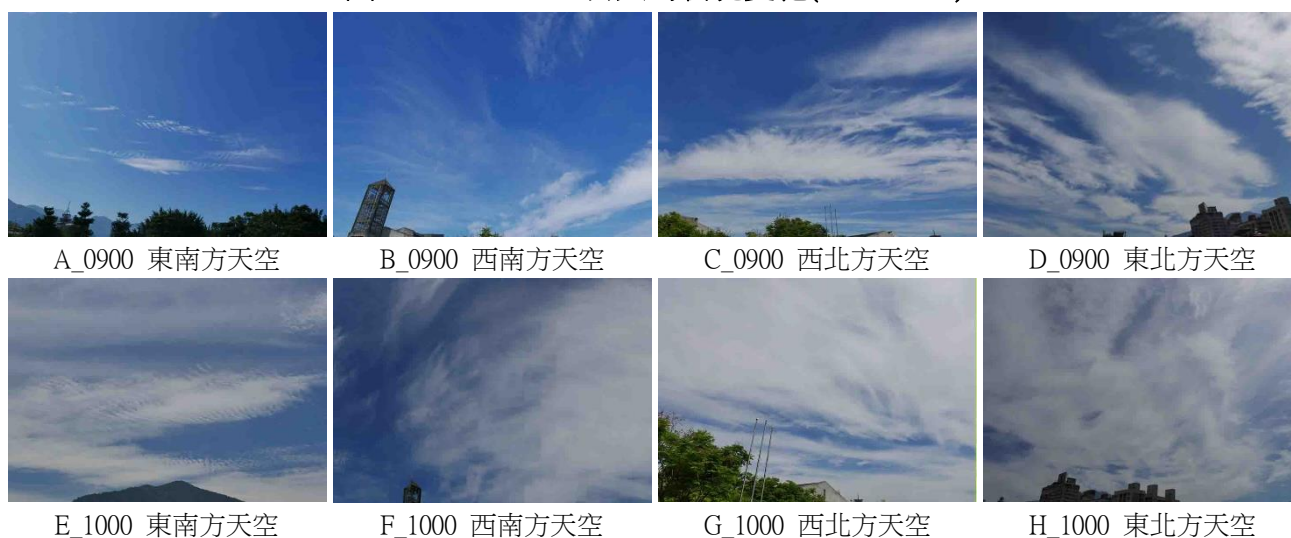


A\_2022-07-19-1014 面向東方      B\_2022-07-19-1100 色調強化雲圖      C\_2022-07-19-1040\_Terra 雲厚度圖

(二).關於「天氣系統的靠近」這部分：可以分作三種類型：(1).單純外來熱對流系統逐漸靠近、(2).鋒面系統逐漸靠近、(3).遠處天氣系統提供水氣+熱對流系統逐漸靠近。不管是哪一種類型，只要是天氣系統逐漸靠近台灣，我們發現卷雲或卷層雲的厚度就會變得比較厚，而且隨著天氣系統愈來愈靠近台灣，愈容易誘發出積雲或濃積雲的發展。底下分別解說：

1.單純外來熱對流系統逐漸靠近：

圖 17 2017-05-10 當天的雲況變化(0900~1000)



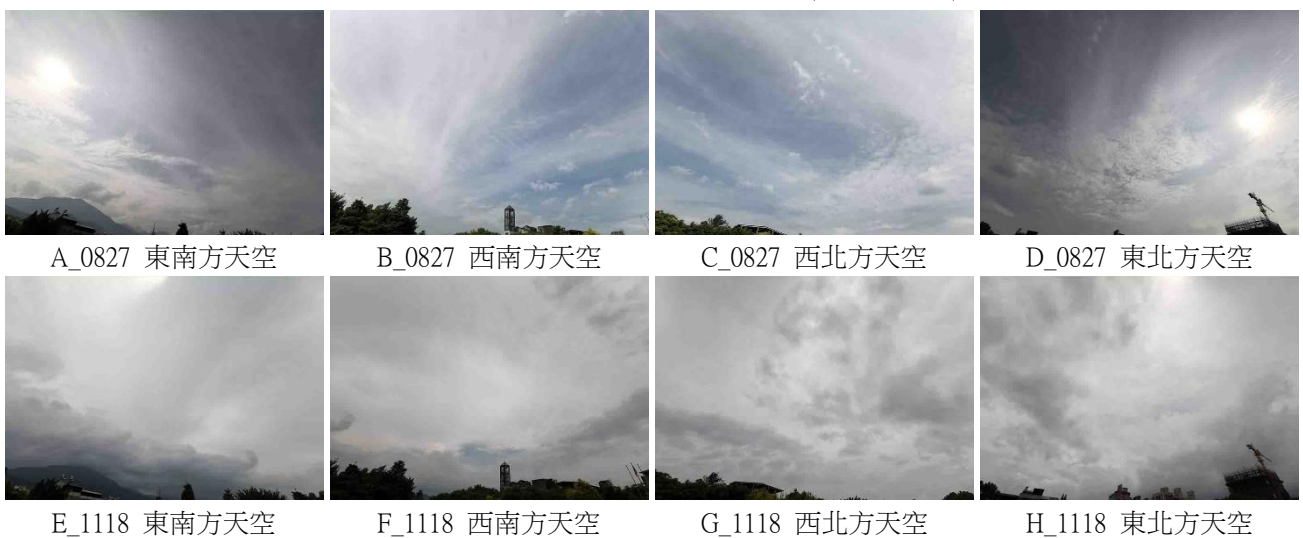
我們有四個實例，分別是 2017-02-21、2017-05-10 和 2017-05-18 和 2022-06-01 這四天。我們以 2017-05-10 為例做進一步的說明：(1).當天卷雲的水氣源頭來自海南島附近海域的小規模強對流雲系，卷雲高度大多落在 9000~10000 公尺，300hpa 高空是吹西南風；(2).隨著高空水氣不

斷傳送進來，0830 時天空就開始出現卷雲，東北方甚至出現了密狀卷雲，如圖 17A~D 所示；

(3).隨著熱對流系統逐漸靠近，卷雲變得愈來愈多，也愈來愈厚，如圖 17E~H 所示。

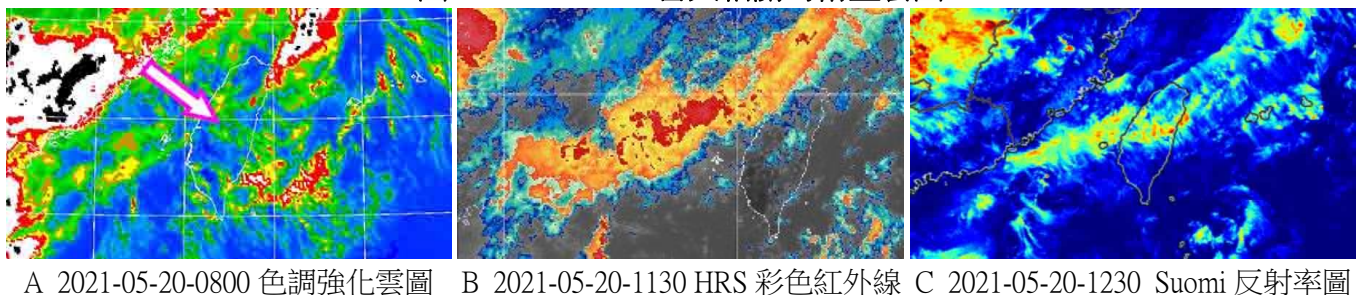
2.鋒面系統逐漸靠近：我們舉 2022-05-23 為例來說明：(1).0800 時，鋒面仍位於福建-廣東沿海一帶，只是高空水氣被帶來台灣，形成比較薄的卷雲(圖 18A~D)；(2).**0800~1400 時，鋒面往台灣靠近一些，所以 1000 時甚至發展出熱對流(積狀雲跟著發展起來)**，1100 時之後雲層就**明顯變厚了(圖 18E~H)**；(3).**1400 時，鋒面竟然往後退**，遠離台灣，導致中部地區的熱對流消失，天空的雲層又變薄，全部被卷層雲取代。

圖 18 2022-05-23 當天的雲況變化(0827~1118)



3.遠處天氣系統提供水氣+熱對流系統逐漸靠近：這個標題的意思是說「**在近處有熱對流系統正在接近台灣**，而在遠方的天氣系統則有旺盛的熱對流，它的高空水氣剛好也被強勁的氣流吹向台灣。」我們有三個實例，分別是 2013-06-06、2021-05-20 和 2022-06-14 這三天。我們以 2021-05-20 這一天為例加以說明(參考表 1)：

圖 19 2021-05-20 當天相關的衛星雲圖

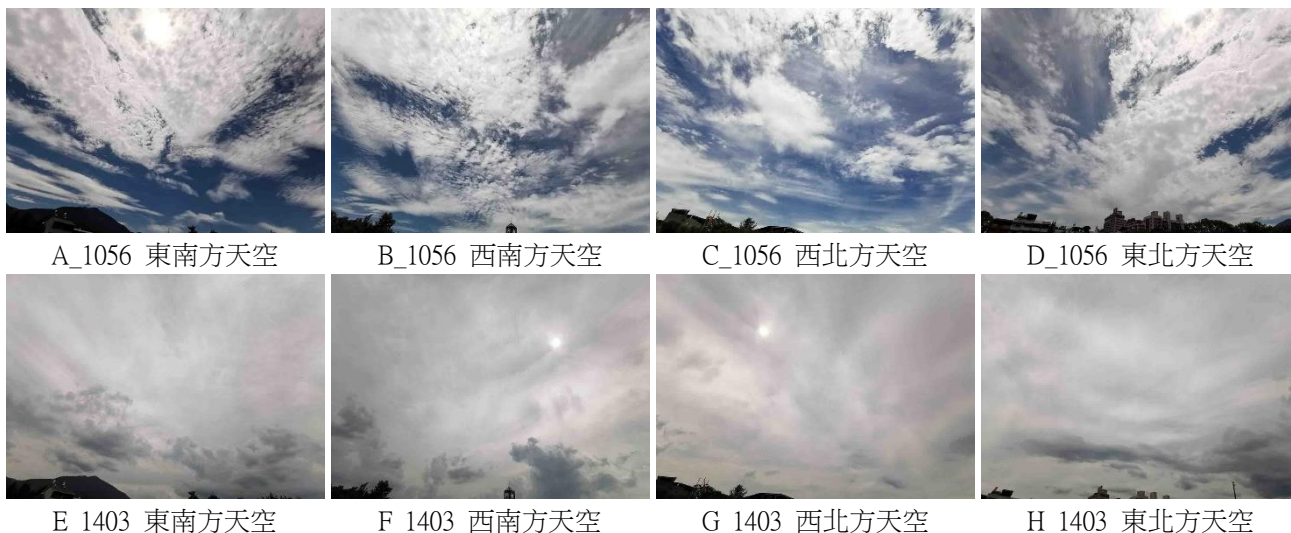


(1).在廣西-湖南一帶有一強大熱對流系統，福建地區也有熱對流，這二個熱對流的水氣都被高空的西北西風吹向台灣；(2).福建地區那個熱對流一邊減弱一邊移近台灣(圖 19A)，0800



時，熱對流主體雖然還在福建，不過台灣的天空已經出現許多高積雲和少許薄卷雲(圖 20A~D)；(3).1130 時，熱對流的主結構已碰觸到台灣(圖 19B)；(4).1230 時，由 Suomi NPP 衛星的卷雲反射率圖，可以看出有一厚卷雲帶從福建沿海延伸到埔里上空 (圖 19C)；(5).1400 時，此熱對流系統已籠罩台灣上空，而天空中也因此布滿了厚厚的卷層雲，西南方更有一些濃積雲在發展(圖 20E~H)。

圖 20 2021-05-20 當天的雲況變化(1056~1403)



(三).關於「外來水氣+本地熱對流的發展」這部分：

圖 21 2017-07-09 當天的雲況變化(0903~1131)



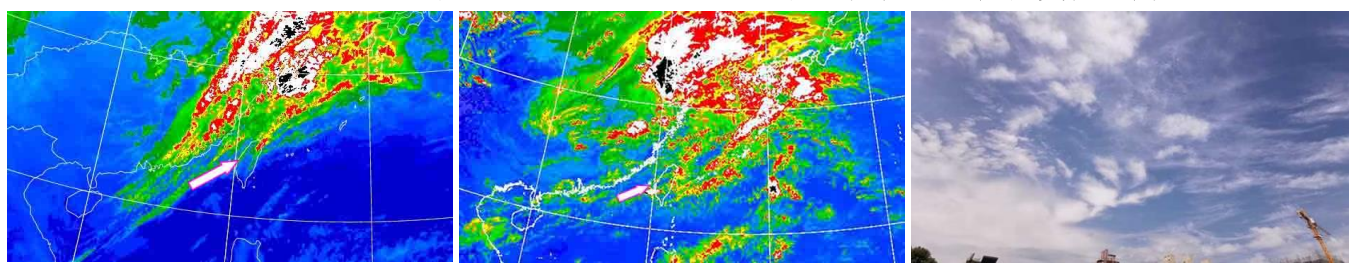
這個標題是「**外來水氣持續輸入，本地也相應發展出熱對流**」的意思。我們有二個實例，分別是 2017-07-09、2021-05-01 這二天。我們以 2017-07-09 這一天為例做更深入的說明：  
 (1).0900 時，高空水氣只進來一些，所以卷雲都薄薄的(圖 21A~D)；(2).1030 時，有更多的

高空水氣進來，所以卷雲有變厚一些；(3).1100 時宜蘭和花蓮交界處有發展出熱對流，而 1130 時此熱對流系統有部分延伸到中部地區，所以卷雲變得更厚，並發展出一些濃積雲(圖 21E~H)。

(四).關於「鋒面熱對流系統邊緣掃過台灣」這部分：我們有二個實例，說明如下(參考表 1)：

(1). 2013-02-05：台灣位於強對流雲系的後段邊緣(圖 22A)，早上高空就進來不少水氣，所以高雲族幾乎覆蓋整個台灣；而且隨著水氣進來愈來愈多，雲層明顯增厚許多。(2). 2022-03-17：台灣位於強對流雲系的下端邊緣(圖 22B)，早上是以小對流雲塊逼進台灣，所以一開始天空就出現許多積狀雲；接著進來的是高空水氣加上零星分布的小小對流雲塊，所以我們就在 1400 時看到了較多的卷雲，同時也間雜了一些積狀雲(圖 22C)。

圖 22 2013-02-05 和 2022-03-17 這二天的色調強化雲圖與雲況實拍照片

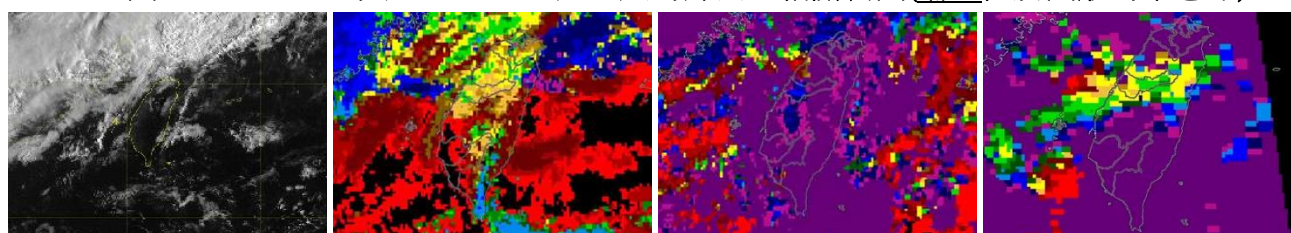


A\_2013-02-05-0732 色調強化雲圖 B\_2022-03-17-1400 色調強化雲圖 C\_2022-03-17-1400(面向東北方)

(五).關於「颱風的影響」這部分：2020-10-21 這一天受到到沙德爾颱風的影響，颱風的結構比較不完整，外圍環流旋臂也不怎麼明顯，不過颱風的外圍發展出許多熱對流，強大的西南風將這些熱對流及其高空水氣吹出一條長長的卷雲帶(圖 31D)，長度超過 2000km。至於與沙德爾颱風相關的天氣資訊請參考表 1，其餘更深入的部分請看 P.27 的深入探討 2。

(六).關於「鋒面在台灣正上方」這部分：2022-05-24 這一天有一個滯留鋒來到台灣正上方，同樣的，2017-03-31 這一天也有鋒面位於台灣正上方，不過，前者是滯留鋒鋒面，後者是冷鋒鋒面。二者的比較分析如下表 2 所示。

圖 23 2017-03-31 與 2022-05-24 這二天的鋒面之相關雲圖(埔里位於圖形的中心點)



A\_2017-03-31-0800 可見光 B\_20170331\_Aqua 雲頂圖 C\_20220524\_Terra 雲頂圖 D\_20220524\_Aqua 雲頂圖

表 2 鋒面與卷雲\_(2017-03-31 和 2022-05-24 之比較)

	2017-03-31	2022-05-24
鋒面類型及行徑	冷鋒。0800 時在 <u>台灣海峽</u> ，1100 時碰觸，1400 時在中部上空	滯留鋒。前一天 2000 時在 <u>台灣海峽</u> ，當天 0200 時碰觸，0800 時~隔天 0200 時滯留在中部上空。
碰觸陸地前的雲況	幾乎無雲(圖 23A)，卷雲 0.9	有大量卷雲
在正上方時的雲況	如圖 23B 所示，鋒前以中、低雲族為主，鋒後以中雲族為主，鋒面剛好位於交界上。	鋒面所在之處：1040 時全部都是卷雲(圖 23C)，1300 時變成中雲族(圖 23D)

由表 2 得知：①.冷鋒鋒面碰觸台灣前幾個小時，雲量非常少(圖 23A)，而滯留鋒面之前則出現了大量卷雲；②.當鋒面在正上方時，冷鋒不會出現卷雲，且冷鋒鋒線會剛好位於中、低雲族的交界(圖 23B)；滯留鋒鋒區一開始全部都是卷雲(圖 23C)，之後則轉成了中雲族(圖 23D)。

### 【小結論】

- (一).當卷雲出現「量多時長」的雲況時，其高空水氣全部來自於熱對流系統，無一例外。不過這熱對流系統大致上可以分成三個類型：(1).單純的熱對流、(2).鋒面型熱對流、(3).熱帶氣旋型熱對流(本次研究只針對颱風型熱對流)。
- (二).導致卷雲出現「量多時長」雲況的鋒面系統，絕大部分是滯留鋒面(即使有些是冷鋒鋒面+滯留鋒面，不過卷雲還是由滯留鋒這一部分造成的)。

### 三、是什麼樣的天氣導致卷雲出現「量多時短」的雲況？

「量多時短」指的是卷雲雲量多，但是這種雲量無法維持 3 小時以上。下表 3 就是從這 1170 天的雲況觀察中所抽離出來的卷雲雲況「量多時短」的部分。

表 3 卷雲出現「量多時短」的雲況時\_相關的雲況及天氣狀況之說明

日期	卷雲雲況及相關天氣狀況之說明
2013-02-03 (一)類型	(1).當天主要雲況變化：高層雲 8.4→灰白雲 10→卷層雲+卷雲 5.2(以卷層雲為主)→卷層雲 4.5+層積雲 1.3。(2).卷雲水氣源頭： <u>海南島南方海面的一大片弱熱對流</u> 。(3).風向： <u>西南風(300hpa)</u> 、東風轉東南風(850hpa)。(4).卷雲雲高：約在 10000m 左右。
2021-09-24 (一)類型	(1).當天主要雲況變化：卷雲 5→卷雲 1.5+積雲 1.5→卷層 2+積雲 5(以濃積為主)→上層-薄雲 10+下層-積雲。(2).卷雲水氣源頭： <u>於桃園和西北部近海所發展出的熱對流</u> 。(3).風向： <u>西北風轉北北東風(200hpa)</u> 、(850hpa) (4).卷雲高度：約在 11000m 左右。
2022-05-18 (一)類型	(1).當天主要雲況變化：卷雲或卷層雲 7(以卷層雲居多)→卷雲 3.5→積雲 3→積雲 3.5。(2).卷雲水氣源頭： <u>位於福建的小小規模熱對流</u> 。(3).風向： <u>西北轉西南西風(200hpa)</u> 、東北風(925hpa)。(4).卷雲雲高：大多大於 12000m。(5).鋒面說明：①.滯留鋒；②.位置與長度： <u>越南東方海面-菲律賓呂宋島-日本東北方外海</u> ；③.0800~2000 時往 <u>台灣</u> 靠近。
2023-03-22 (一)類型	(1).當天主要雲況變化：卷雲 4.5→卷雲 6→卷雲 1+ACS-5→積雲 1。(2).卷雲水氣源頭： <u>位於福建的小小規模熱對流</u> 。(3).風向： <u>西風轉西北西風(200hpa)</u> 、西南風(925hpa)。(4).卷雲雲高：大多位於 12000m 左右。(5).鋒面說明：①.滯留鋒面；②.位置與長度： <u>湖南-浙江-東海</u> 。

2017-06-27 (二)類型	(1).當天主要雲況變化：卷雲 7(0830)→卷雲 6(薄)+濃積雲 2(1000)→濃積雲 2.5+卷雲 1→濃積雲 8。(2).卷雲水氣源頭：花蓮的小規模熱對流系統。(3).風向：花蓮一直到宜蘭附近海域都吹東北風(200hpa)、西南風轉西風(850hpa)。(4).卷雲高度：大多落在 12000m 左右。(5).鋒面說明：①.滯留鋒；②.位置與長度：很長，從廣西延伸到日本北海道東北方外海；③.台灣正位於鋒面的前緣。
2021-05-17 (三)類型	(1).當天主要雲況變化：卷雲+卷層雲 8→卷雲 4+高積雲 2+積雲 2→積雲 7.5+密卷雲 1→以高積雲為主 3。(2).卷雲水氣源頭：福建-江西一帶的熱對流系統。(3).風向：西風轉西北西風(200hpa)、西南風(850hpa)。(4).卷雲高度：大多在 12000m 以上。
2021-10-21 (四)類型	(1).當天主要雲況變化：以卷雲為主 7(薄)→(少量積雲)→以積雲為主 7→□。(2).卷雲水氣源頭：華南雲雨帶東移過程中的下緣水氣。(3).風向：西北風(200hpa)、西北風轉西南西風(850hpa)。(4).卷雲高度：大多在 12000m 以上。(5).其他說明：冷高壓南下。
2013-10-31 (五)類型	(1).當天主要雲況變化：卷雲 0.1→卷雲+卷層雲 3.8(以卷層雲為主)→卷雲+卷層雲 5.7(以卷層雲為主)→卷雲+卷層雲 4.3(以卷層雲為主)+彩霞雲布滿全天。(2).卷雲水氣源頭：柯羅莎(KROSA)颱風的外圍環流水氣。(3).風向：西南風(200hpa)、東南風轉成東北風(850hpa)。(4).卷雲高度：大多大於 12000m。
2013-11-01 (五)類型	(1).當天主要雲況變化：卷雲+卷層雲 5.9(以卷層雲為主)→卷雲+卷層雲 2.5(以卷雲為主)→卷層雲 0.9+很薄的雲層→較厚的雲層。(2).卷雲水氣源頭：柯羅莎(KROSA)颱風的外圍環流水氣。(3).風向：①.200hpa：東南風進入，再逆時針轉成西南風出去、②.850hpa：東南風。(4).卷雲雲高：大於 12000m。(5).颱風說明：0800 時，柯羅莎位於台灣南南西方外海約 370km 之處。
2017-09-26 (六)類型	(1).當天主要雲況變化：卷雲 4.0(0840)→卷雲 5.0(1200)→積雲 1.0(1500)→□。(2).卷雲水氣源頭：台灣東北方外海。(3).風向：①.200hpa：在鋒面所在位置為西北風，順時針轉動，到台灣時已變成東北風；②.850hpa：有一高壓中心在東方近海，氣流順時針繞此高壓中心旋轉。(4).卷雲高度：大多大於 12000m。(5).鋒面說明：①.滯留鋒；②.位置與長度：河南-山東-日本九州南方海面-向東北延伸至太平洋深處
2023-03-15 (七)類型	(1).當天主要雲況變化：纖維狀卷雲 10(薄)→卷雲 4→卷雲 2(薄，大多集中在東南方)→卷雲 5。(2).卷雲水氣源頭：海南島北方不遠處的一個小雲帶。(3).風向：西風(200hpa)。(4).卷雲高度：大多落在 12000m 左右。

## 【結果】

我們發現卷雲之所以會出現「量多」，主要是有大量的高空水氣進入，而出現「時短」的最主要原因則是後面沒有持續且足夠多的水氣支援。我們把導致卷雲出現「量多時短」雲況的天氣細分為七類(參考表 3)：(1).已經消散的熱對流、(2).附近的小規模熱對流、(3).破碎狀熱對流逐漸移進；(4).雲雨帶邊緣掃過台灣；(5).颱風的外圍環流、(6).遠方的鋒面系統、(7).窄雲帶過境。底下針對這七種天氣類型再做詳細的說明：

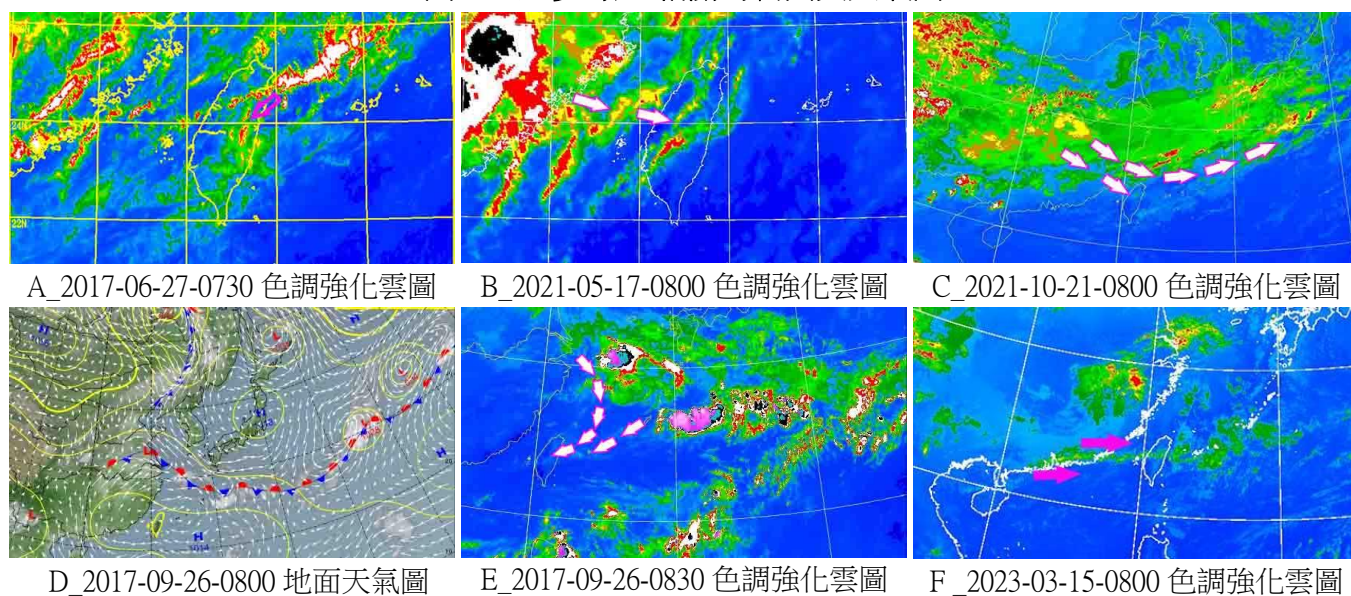
(一).關於「已經消散的熱對流」部分：標題意思是說，在卷雲形成之前，遠方的熱對流系統已經消散，並將高空的水氣傳來台灣。我們有 2013-02-03、2021-09-24、2022-05-18 和 2023-03-22 等四個實例，我們舉 2022-05-18 為例來說明：(1).河南-安徽一帶有一大片強大的熱對流雲帶，從前一天延續到當天；(2).0400 時福建有一小小規模熱對流開始發展(此熱對流乃是後頭那強大的熱對流前端邊緣雲系的一小部分)，0700 時消散；此熱對流的高空水氣傳至台灣，形成 0820 時的卷雲(圖 24A~D)；(3).0800 之後高空水氣量愈來愈少，所以卷雲也跟著愈來愈少(圖 24E~H)；(4).隨著南方的滯留鋒面往台灣靠近(參考表 3)，強熱對流也

一直往台灣延展，大氣變得不穩定，所以在 1400 時積雲就開始發展起來了(圖 24I~L)。

圖 24 2022-05-18 當天的雲況變化(0821~1418)



圖 25 量多時短-相關的雲圖與天氣圖



(二).關於「附近的小規模熱對流」部分：我們以 2017-06-27 這一天為例來說明：①.0500 時，花蓮中部山區發展出熱對流；②.0730 時，花蓮北部山區發展出第二波狹長形小規模熱對流；③.第一波熱對流於 0800 時消散，第二波熱對流於 0830 消散；④.0830 時的卷雲是由第二波熱對流造成的(圖 25A)；⑤.宜蘭東北方外海在凌晨時就已發展出強熱對流，此熱對

流一度消散，卻又於 1200 時再度發展起來，並往南南西方向擴大，加上當天的大氣極不穩定(台北 CAPE 值 2906.8)，所以 1100 時之後濃積雲就發展得愈來愈旺盛。

(三).關於「**破碎狀熱對流逐漸移進**」部分：我們以 2021-05-17 這一天為例來說明：①.前一天傍晚江西上空就開始發展熱對流，並逐步往福建方向擴張，形成強大的熱對流；②.由於高空水氣不斷地輸入台灣(圖 25B)，因此在 0800 時天空就出現許多卷雲；③.1100 時，高空水氣出現空檔，以致於卷雲雲量驟減，但因為破碎狀熱對流持續接近台灣當中，所以積雲就開始發展起來了；④.1330 時，中部地區發展出短暫的小規模熱對流，所以 1400 時天空以積雲為主。

(四).關於「**雲雨帶邊緣掃過台灣**」部分：我們以 2021-10-21 這一天為例來說明：(1).有一很長、很寬的雲帶(華南雲雨區)橫跨長江流域，並延伸至日本，此大雲帶是以繞弧的方式在運行—先往東南方移動，再轉向東北方(圖 25C)；(2).0800 時此雲帶邊緣切到台灣，並在西北風的吹拂下帶來高空的水氣，形成大量的卷雲；之後隨著雲帶的遠離，卷雲就跟著變少了。

(五).關於「**颱風的外圍環流**」部分：我們有二個實例，分別是 2013-10-31 和 2013-11-01，這二天都受同一個颱風(柯羅莎，KROSA)的影響。底下分別說明：(1).2013-10-31：①.0800 時，**中度颱風柯羅莎位於台灣東南方外海約 600km 之處**；②.柯羅莎颱風的最外層環流於 1200 時左右來到台灣中部上空，並一直往北部伸展；第二層外圍環流於 1700 時左右來到中部上空；隨著颱風愈往台灣靠近，高雲族雲量明顯變多(1800 時有些高雲族被下方的雲層擋住)，雲的厚度也變厚許多。(2).2013-11-01：①.0300 時颱風主結構的強對流環流碰觸到台灣陸地(颱風中心 0600 時最靠近台灣)；②.一直到 1500 時之前天空都只有卷雲或卷層雲，但是，隨著颱風的遠離，高雲族的雲量也變得愈來愈少；③.到 1800 時，由於中部地區發展出熱對流，整個雲層才又變厚。其他更深入的探討請看 P.27 的深入探討 2。

(六).關於「**遠方的鋒面系統**」部分：我們以 2017-09-26 這一天為例來說明：(1).這一天的鋒面很長，距離台灣並不近(圖 25D)，**一整天幾乎都滯留在原地**。(2).凌晨時，有一熱對流在低壓中心左側鋒面的中段偏右附近發展起來，並成為提供台灣高空水氣的主要對流系統；(3).0840 時，主對流系統的高空水氣被帶至台灣(圖 25E，圖中的主對流已往左下移一些)，形成卷雲；(4).主對流系統發展愈來愈旺盛，並以順時針方式位移，進來台灣的高空水氣愈來愈多，到中午左右達到最高點，所以在 1200 時之前卷雲雲量也就愈來愈多；(5).隨著

主對流系統愈往南移，進來台灣的高空水氣就變少了，所以卷雲的雲量也就跟著減少了。

(七).關於「窄雲帶過境」部分：我們以 2023-03-15 這一天為例來說明：(1).影響中台灣的水氣帶來自海南島北方不遠處。一開始此雲帶只有一小片，在西風的吹拂之下，此雲帶愈來愈細長，到 0800 時，此細長的雲帶剛好穿越中台灣上空(圖 25F)，因此形成大量的纖維狀卷雲。但隨著雲帶的遠離，卷雲的雲量很快就遞減下來了。

#### 四、是什麼樣的天氣導致卷雲出現特長外形？

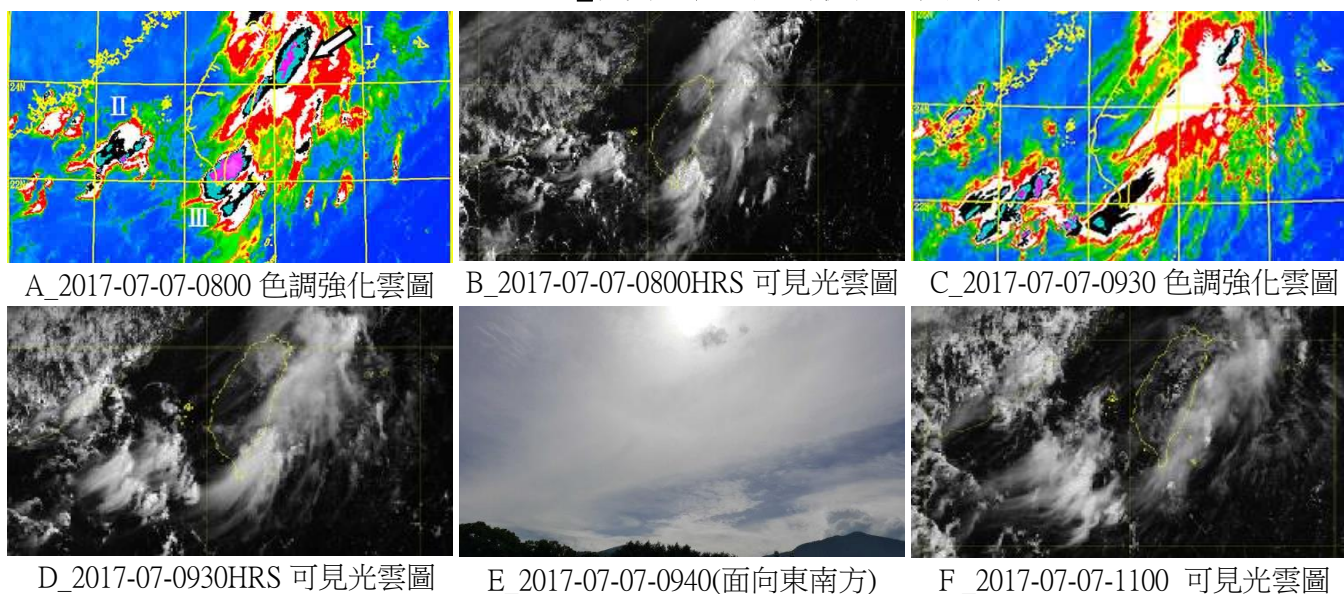
這邊指的「特長」到底有多長呢？我們大致上會以二個象限的橫幅為基準，只要超過這個長度的卷雲就稱之為「特長卷雲」。就實際觀察而言，我們發現有三種天氣型態跟特長卷雲有較密切的關聯性，底下分別說明：

(一).跟「附近的強熱對流系統」有關聯：2017-07-07 當天 0940 時我們觀察到**特長密狀卷雲**(圖 26E)，經過分析之後得知它是附近的強熱對流所造成的，所以在此針對熱對流與特長卷雲的關係做個探討。2017-07-07 當天台灣的大氣狀態十分不穩定(馬公 CAPE 值為 1543.2)，近海到處都有熱對流在發展，為了方便分析，我們只聚焦在其中三個熱對流(圖 26A)：(1). I 號熱對流(勢力最龐大)(**箭頭方向為高空風向，同時也指向 I 號熱對流**)：凌晨時宜蘭近海發展出來的熱對流；(2). II 號熱對流：0430 時於澎湖望安鄉附近發展出來的熱對流；(3). III 號熱對流：0530 時於墾丁附近發展出來的熱對流。表 4 為這三個熱對流的簡單說明。經過分析比較之後，我們得出以下二點結論：(1).**若熱對流發展勢力強大，在發展的過程中，就有可能被高空強風吹出特長密狀卷雲**：0800 時(圖 26B)，I 號熱對流正處於發展的旺盛期，可以明顯地看出已被強勁的東北風往西南方帶出長長的密狀卷雲；II 號和 III 號熱對流則處於發展的初期，雖然已出現密狀卷雲，但是長度仍不長；到了 0930 時(圖 26C、D、E)，三個熱對流都處於發展旺盛期，所以都出現了特長密狀卷雲。(2).**當熱對流發展勢力減弱時，卷雲會慢慢變薄，長度則不一定變短**：1100 時(圖 26F)，三個熱對流發展勢力都處於減弱階段，可以看出卷雲都變薄了；不過在卷雲的長度方面，I 號變短，II 號變長，主要的原因是 I 號殘留的水氣少，II 號殘留的水氣多(只要水氣夠多，高空強風仍可以將水氣吹出長長的薄卷雲，我們有看過好幾個例子，例如 2022-07-19、2022-08-26 這二天)。

表 4 2017-07-07\_I 號、II 號和 III 號熱對流之相關說明

日期	特長卷雲雲況及相關天氣狀況之說明
2017-07-07 主熱對流 I 號 宜蘭近海	(1).當天主要雲況變化：卷雲 2+高積雲 2(0920)→積雲+濃積雲 2→濃積雲 10→灰白雲布滿天空。(2).卷雲高度：大多大於 12000m。(3).高空風向：東北風(200hpa)。(4).特長卷雲說明：0940 出現一條又寬又長的卷雲(東北-西南走向)。(5).熱對流說明：①.前一天整個台灣西南和東部近海有發展出強大的熱對流；②.到 7 號凌晨時，東部近海的熱對流大多消散，只剩花蓮北部近海還在發展；③.接著宜蘭及其近海也發展出熱對流；④.0200 時兩股熱對流合併在一起，並逐漸往南和西南方壯大勢力；⑤.1000 時熱對流主體東移，並逐漸減弱。(6).鋒面說明：①.滯留鋒(左)+冷鋒(右)；②.位置與長度：很長，南韓南部-日本九州-向東北方延伸至太平洋深處。
II 號 熱對流	(1).位置：澎湖南方海面。(2).熱對流發展：①.0430 時，熱對流於澎湖望安鄉附近開始發展起來；接著不斷往西南方發展；②.0800 時，對流主體已往西南方位移了約 1、2 百公里(圖 26A)；③.1030 時呈現減弱狀態；④.1230 時又重新發展起來；⑤.1400 時發展勢力消退，仍殘留一些水氣。
III 號 熱對流	(1).位置：墾丁附近。(2).熱對流發展：①.0530 時，熱對流於墾丁附近開始發展起來，接著不斷往西南方發展；②.0800 時，對流主體已擴大到覆蓋整個墾丁及附近海域(圖 26A)；③.1030 時發展勢力減弱；④.1300 時又重新發展起來。

圖 26 2017-07-07\_相關的雲圖與密狀長卷雲照片



(二).「位於鋒面雲帶尾端+高空強風的吹襲」部分：我們發現當鋒面過境時，有些特長卷雲會出現在地面鋒的延長線上(或接近延長線)，我們以 2016-12-09 和 2021-04-30 這二天為例來說明：

表 5 當出現特長卷雲時\_「位於鋒面雲帶尾端+高空強風的吹襲」部分

日期	特長卷雲雲況及相關天氣狀況之說明
2016-12-09	(1).當天主要雲況變化：絮狀卷積雲 2(0900)→卷雲+卷積雲 5，還有少量高積雲→雲量極少→□。(2).卷雲水氣源頭：高空水氣來自台灣和海南島中間的南海海域(圖 28D)(水氣量不多)。(3).風向與風速(300hpa)：西南西風、70kt。(4).卷雲高度：大多落在 10000m 左右。
2021-04-30	(1).當天主要雲況變化：0→卷雲 7(西北方有密卷雲)→積雲 1.5(西北方有濃積雲在發展)→卷雲+卷積雲 2。(2).卷雲水氣源頭：來自福建沿海(水氣量不多)。(3).風向與風速(200hpa)：西風、80kt。(4).卷雲高度：大多落在 11000~12000m 之間。



圖 27 2016-12-09 當天的雲況變化 (1020 時~1110 時)

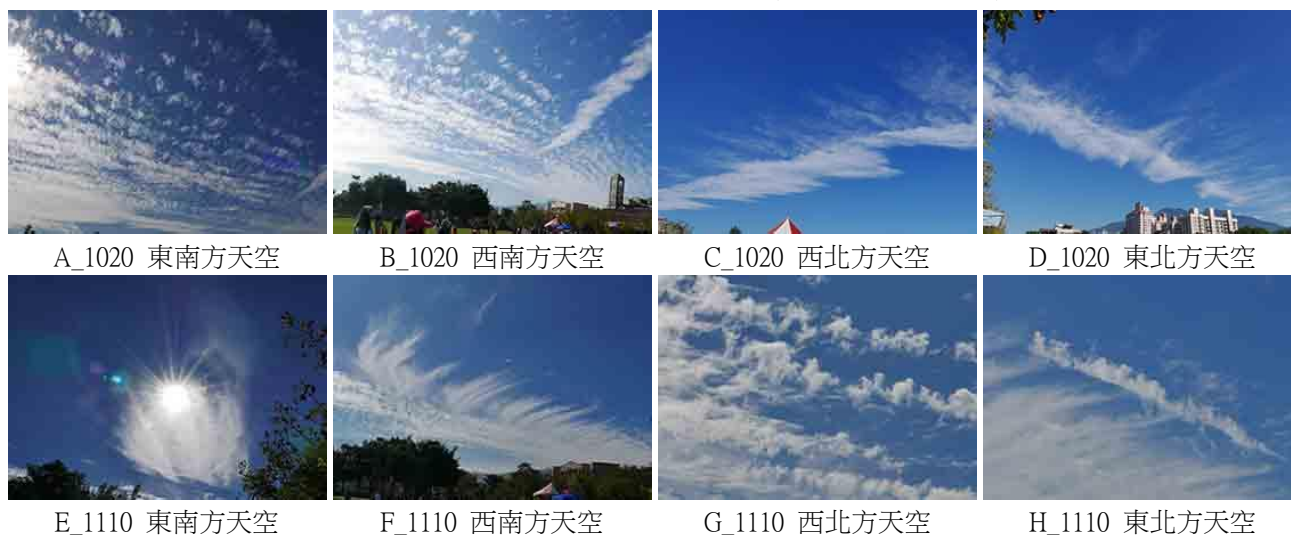
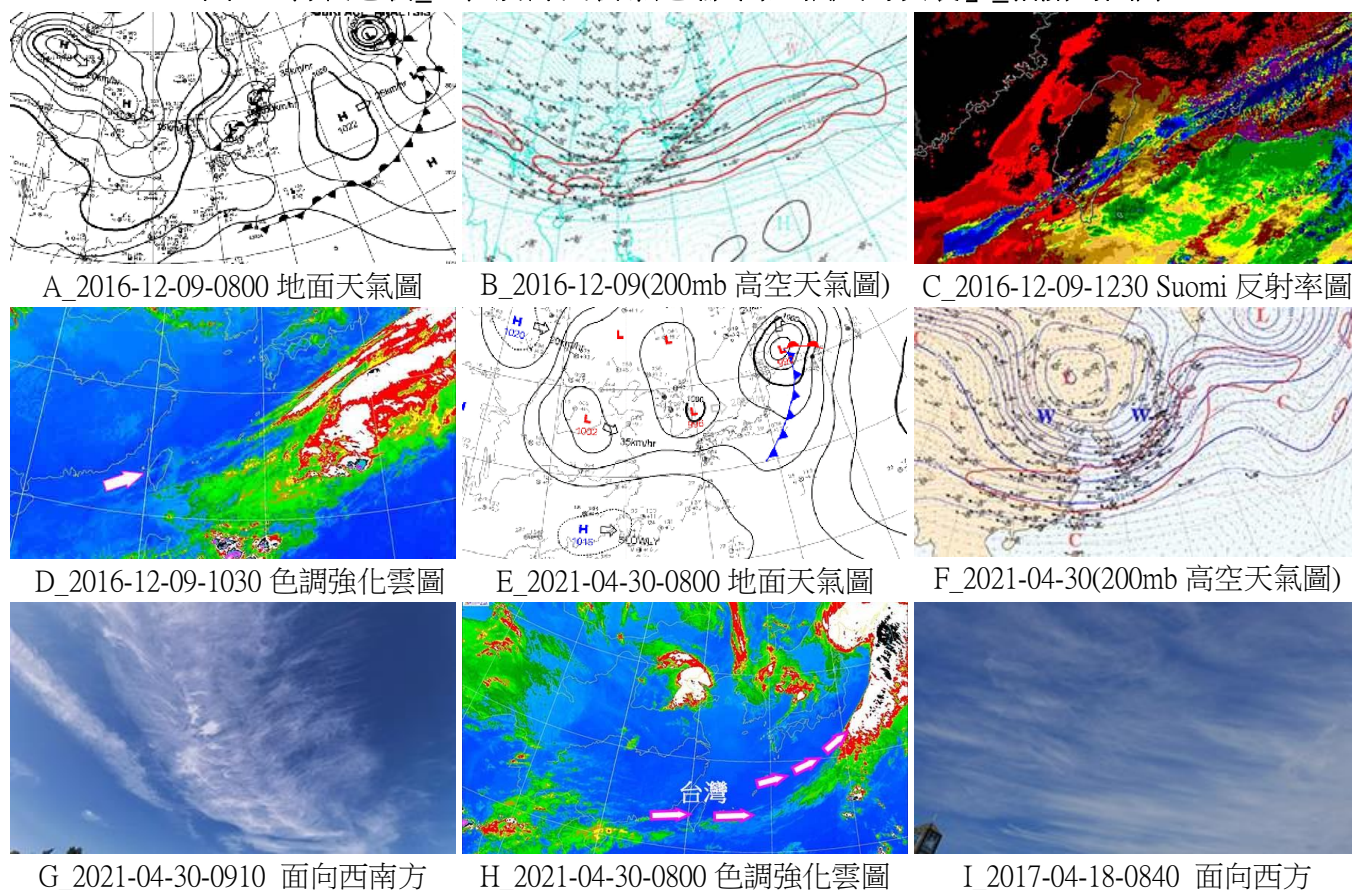


圖 28 特長卷雲\_「位於鋒面雲帶尾端+高空強風的吹襲」\_相關的圖片



1.2016-12-09：(1).這一天出現二次的特長卷雲，第一道出現在 1015 時(圖 27C、D)，卷雲從西方延伸到東北方，約有 2 個象限長度；第二道出現在 1100 時，卷雲呈長脊狀，從西南往東方延伸(圖 27F)；不管是第一道或者是第二道，它的軸向(主軸的方向)都大致和風向一致。(2). 形成原因推斷：台灣不只位於 200mb 高空噴射氣流(Jet Stream) 的強風軸左前部位 (有利於對流的發展)，而且等風速線 50kt 也恰好在台灣上空(圖 28B)，在強大的西南西風的吹拂之

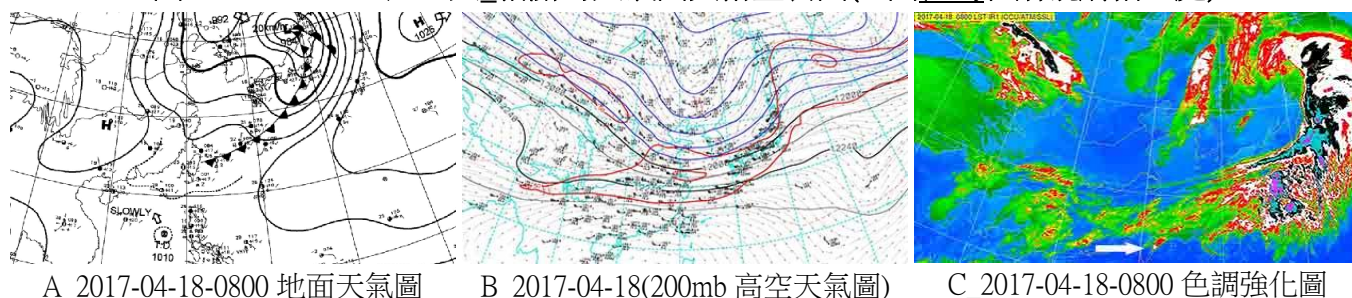
下，再加上遠方冷鋒低壓中心(圖 28A、D)牽引的力量，才形成如此長的卷雲(我們從 Suomi NPP 卷雲反射率頻道看到高空水氣真的被強風吹出一條十分長的卷雲)(圖 28C)。

2.2021-04-30：(1).這一天是 0900 時左右出現長卷雲，其主軸由西南延伸到東北東方(圖 28G)，和高空風向大約夾 23°角；(2).形成原因推斷：雖然這一天位於日本北方的鋒面低壓中心距離台灣很遠(圖 28E)，不過此鋒面雲帶拉得很長，一直延伸到台灣(圖 28H)；此外，此時 200mb 高空的等風速線 50kt 恰好位於台灣北部上空(圖 28F)；所以，我們認為高空水氣在強大的西風吹拂之下，再加上遠方冷鋒低壓中心牽引的力量，才會形成如此長的卷雲。

### 【深入探討 1】如果鋒面系統距離台灣比較近，那卷雲會不會被拉得比較長？

答：不一定。我們以 2017-04-18 這一天為例來說明：(1).由圖 29A、C 可以看得出來台灣此時正位於鋒面系統的尾端；(2).高空風向與風速(200hpa)：西風、30kt(圖 29B)；(3).0800~0840 時：台灣海峽傳來少許高空水氣，所以埔里上空出現許多密集的纖維狀卷雲(圖 28I)，大多呈北北西-南南東走向；(4).結論：雖然台灣剛好位於鋒面的尾端，可能是因為高空風速不夠強大(只有 30kt)，所以沒有出現特長卷雲(只出現短而密集的纖維狀卷雲)。

圖 29 2017-04-18 這一天\_相關的天氣圖與衛星雲圖(C 圖台灣在箭號所指之處)

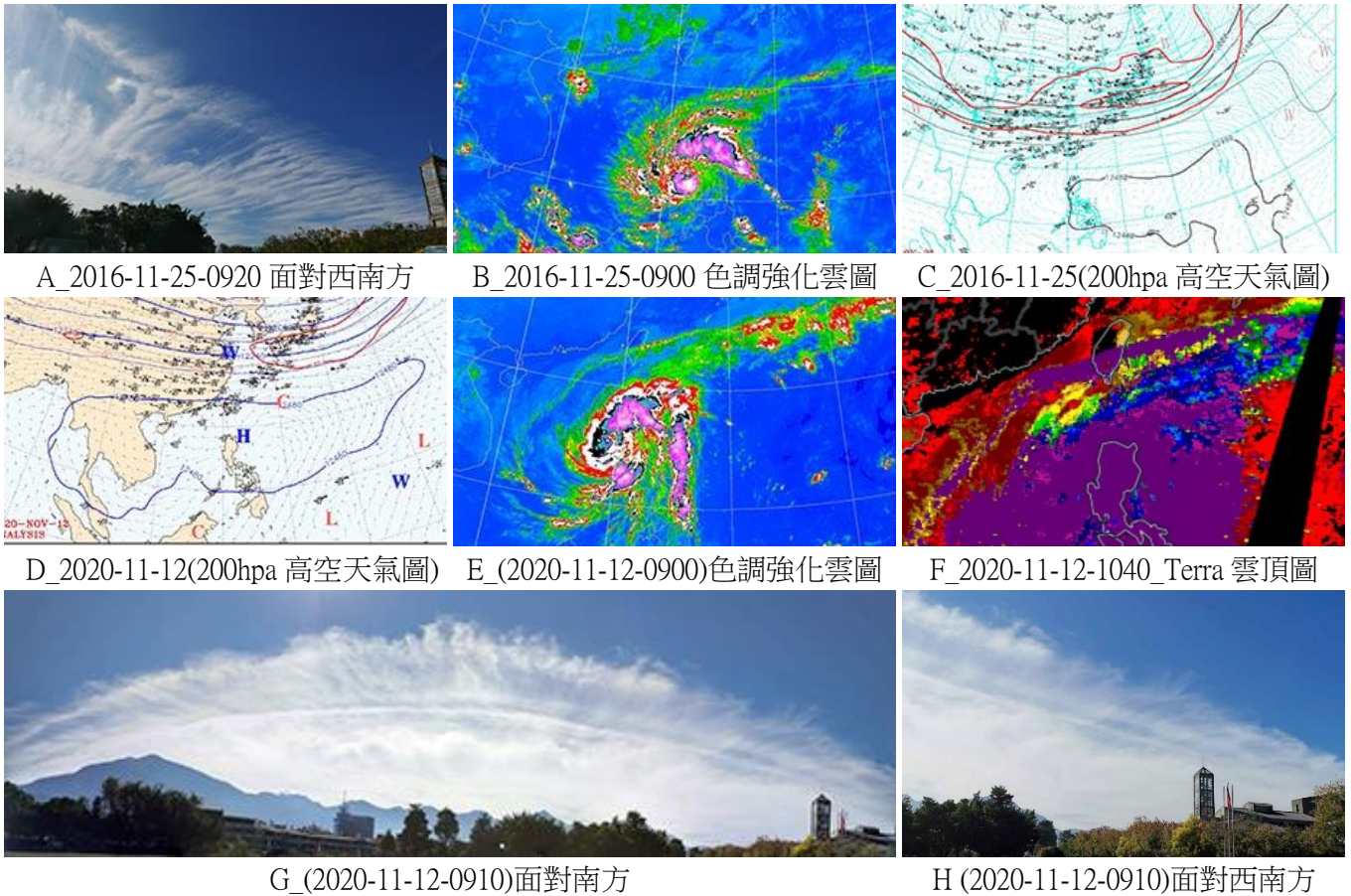


(三).跟「颱風的外圍環流」有關聯：

表 6 特長卷雲\_跟「颱風的外圍環流」有關聯

日期	特長卷雲雲況及相關天氣狀況之說明
2016-11-25 輕颱蝎虎	(1).當天主要雲況變化：高積雲 7(0800)、卷雲 3(0900)→有縫隙的蔽光 ACS 5→卷雲 2.8(1420)→灰白雲 10(1600)。 (2).卷雲水氣源頭：高空水氣來自台灣西南方海域(受到蝎虎颱風高空輻散環流的影響)。 (3).風向：西南風轉西南西風(200hpa, 60kt)、氣流從東部海域以順時針的方式繞台灣半圈(850hpa)。 (5).卷雲高度：大多在 12000m 以上。
2020-11-12 中颱梵高	(1).當天主要雲況變化：層雲 3.5→卷雲 3(一整片都集中在南方)→蔽光 ACS10(Aqua：有不少卷雲在 ACS 上方)→ACS4+卷雲 2(橫雲帶呈南北向，卷雲條呈東西向)。 (2).卷雲水氣源頭：來自梵高颱風的外圍環流。 (3).風向：西南風轉西南西風(200hpa)、東北東風(850hpa)。 (4).卷雲高度：大多在 12000m 以上。

圖 30 特長卷雲跟「颱風的外圍環流」有關聯\_相關的圖片



颱風屬於熱帶氣旋，不同地區對熱帶氣旋有不同的界定方式，我們這邊是根據中央氣象局的說法，把熱帶氣旋分作「熱帶性低氣壓」和「颱風」二大類。雖然颱風和熱帶性低氣壓都有可能產生特長卷雲，不過我們這次研究只針對颱風這一部分。底下舉 2016-11-25 和 2020-11-12 這二天為例來加以說明：

1.2016-11-25：(1).雖然蠍虎(TOKAGE)颱風的外圍環流直到隔天(11/26)凌晨 0200 時左右才碰觸台灣南端，但是 11/25 當天颱風在高空輻散出來的水氣仍被強勁的西南風帶至台灣(圖 30B)(水氣量並不多)；(2).約在 0920 時左右天空出現長卷雲(脊狀卷雲)(圖 30A)，雲帶的軸向是西南-東北走向，卷雲條(註 10)拉得很長。其餘更深入的部分請看 P.27 的深入探討 2。

註 10：關於「卷雲條」這名詞，我們是採用紀水上教授的說法(紀水上，2014)

2.2020-11-12：(1).梵高(VAMCO)颱風的最外層環流於前一天(11/11)晚上 2200 時碰觸台灣南端；(2).當天(11/12)0800 時，颱風中心位於鵝鑾鼻南方約 760 公里之處；(3).0900 時颱風的位置如圖 30E 所示，約在 0910 時左右天空出現十分寬大的長卷雲(脊狀卷雲)(圖 30G、H)，我們由 Terra 衛星的雲頂高度圖可以看出這卷雲雲帶大約有 1500 公里長(圖 30F)；(4).1100 時，帶有

熱對流的外圍環流外形不見了，只殘留了許多中、高空的水氣；(5).從 1100~1700 時，卷雲都只侷限在中部以南，埔里大約處於卷雲分布的上方邊緣。其餘更深入的部分請看深入探討 2。

註 11：為什麼特長脊狀卷雲的卷雲條總是和高空風向近乎垂直？這個問題我們有向中央氣象局的蔡甫甸先生請教過，他說可能跟風切有關，但仍要看實際的大氣數據才能確定。

## 【深入探討 2】可否把颱風和卷雲之間的關聯性做一個較全面且深入的探討？

答：颱風可粗分為夏天(6~8 月)型的颱風和秋天(9~11 月)型的颱風二大類。我們這次的研究所提到的颱風有 4 個，沙德爾(SAUDEL, 2020-10-21)、柯羅莎(KROSA, 2013-10-31~2013-11-01)、蝎虎(TOKAGE, 2016-11-25)和梵高(VAMCO, 2020-11-12)，從日期來看都是屬於秋天型的颱風。為什麼不研究夏天型的颱風？主要是因為此時的颱風有一大半出現在暑假，我們觀察的時間比較少，手頭上的資料還不夠完整。

經過分析之後(參考表 1、3、6、7)，我們認為可以從卷雲得知颱風的大致樣貌，說明如下：

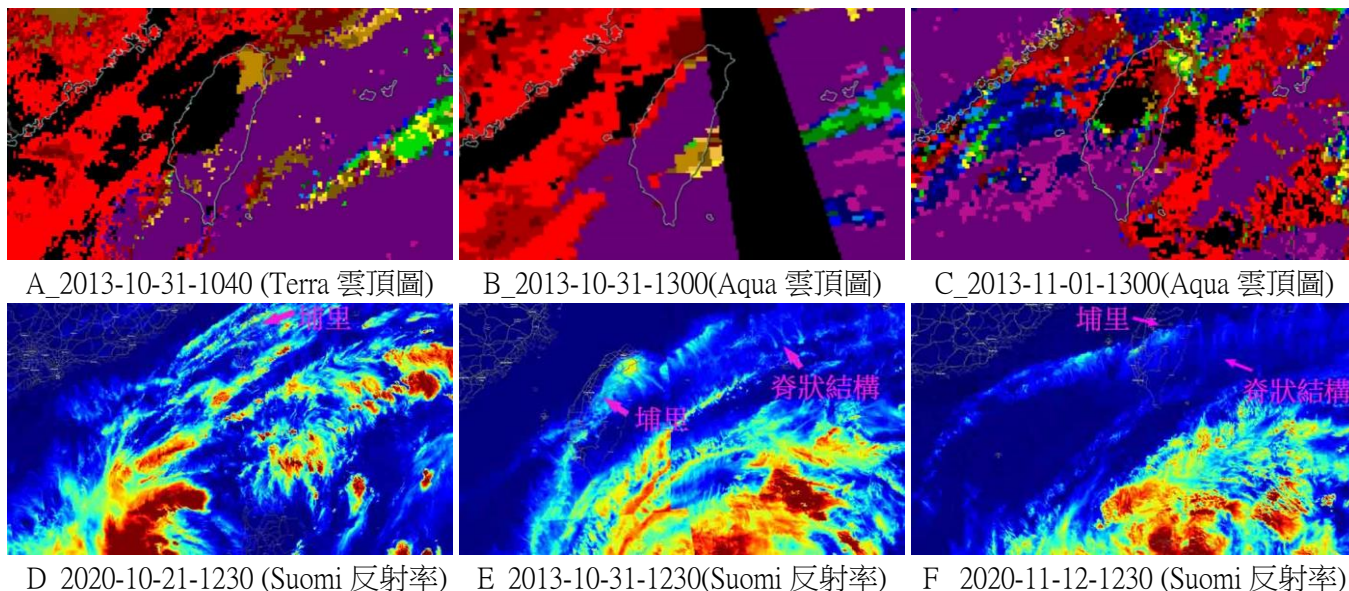
- 1.從卷雲的雲量與分布來看：
  - (1).即使颱風中心遠在千里之外(例如蝎虎)，颱風所輻散出來的水氣仍然可以被高空的氣流吹至台灣，形成卷雲；
  - (2).在秋天，若台灣南方有出現大量卷雲(甚至北移)，或者是南方一直出現中等雲量的卷雲，那八九不離十，一定是颱風造成的(不排除熱帶性低氣壓的可能性)；
  - (3).卷雲移動方式：
    - ①.若卷雲由南往北擴延，那表示颱風正向我們逼進，例如柯羅莎和蝎虎；
    - ②.我們以柯羅莎為例：2013-10-31 的 0800~2000 時，颱風移近台灣，所以卷雲就由南向北擴展(圖 31A、B)；2013-11-01 的 0800~2000 時，颱風逐漸遠離，所以卷雲也就變成由北向南縮減了(圖 31C)；
    - ③.若卷雲的雲量或分布範圍維持不變，那表示颱風與我們的距離保持不變(通常是緩慢的水平移動)，例如沙德爾和梵高。
- 2.從脊狀卷雲來看：
  - (1).由脊狀結構可以看出颱風的強度：颱風強度愈強，脊狀結構就愈明顯，例如柯羅莎和梵高是中颱，它們外圍環流的脊狀結構就很明顯(圖 31E、F)，而沙德爾屬於輕颱，基本上就看不出有什麼脊狀結構(圖 31D)；
  - (2).脊狀結構屬於颱風外圍環流旋臂的一部分：只有當外圍環流的旋臂有碰觸到台灣時，我們才會觀察到寬大的脊狀卷雲。可是，蝎虎颱風不是也有出現脊狀卷雲？是的，就如上一頁所解釋過的：蝎虎在 2016-11-25 當天，它的外圍環流確實還沒有碰觸台灣，之所以會形成脊狀卷雲，最主要的原因是它高空的風速很強(60kt)，而且位於強風軸左前部位(有利於對流的發展)(圖 30C)，雖然颱風提供的水氣水氣不多，但仍有機會形成脊狀卷雲，這情況和 2016-12-09 這一天很類似；比較一下圖 30A

和 27F，就會發現它們脊狀結構中的卷雲條都很鬆散，和颱風旋臂所形成的脊狀卷雲(卷雲條比較密集)(圖 30G)差異比較大。

表 7 颱風的移動路徑與卷雲的分布樣態之關係

日期	特長卷雲雲況及相關天氣狀況之說明
2020-10-21 輕颱 沙德爾	(1).強度：輕颱；(2).2020-10-21-0800 時位置：位於台灣南南西方海域約 710 公里之處(菲律賓碧瑤市附近海域)；(3).颱風路徑(0800~2000 時)：幾乎成水平移動；(4).卷雲分布樣態：當天全台一直維持大量的卷層雲；前一天卷雲只分布在南部。
2013-10-31 至 2013-11-01 中颱 柯羅莎	(1).強度：中颱；(2).0800 時位置：①.2013-10-31：位於台灣東南方外海約 600km 之處(菲律賓呂宋島東北角的東方約 290 公里海面)；②.2013-11-01：位於台灣南南西方外海約 370 公里之處(菲律賓呂宋島西北角的西北方約 100 公里海面) (3).颱風路徑(0800~2000 時)：①.2013-10-31：往西北西方移動約 200 公里；②.2013-11-01：往西北西移動約 100 公里，再往西移動約 100 公里；(4).卷雲分布樣態：①.2013-10-31：卷雲由南至北擴張；②.2013-11-01：卷雲由北往南消退。
2016-11-25 輕颱 蝎虎	(1).強度：輕颱；(2).2016-11-25-0800 時位置：位於鵝鑾鼻南方 1190 公里陸地上(菲律賓碧班乃島)；(3).颱風路徑(0800~2000 時)：往西北西方移動約 200 公里；(4).卷雲分布樣態：①.11/25 當天因為颱風距離比較遠，雖然持續有出現卷雲，但雲量不多；②.11/26：颱風又往西北方移動了約 400 公里，台灣南部已出現大量的卷雲；③.11/27：颱風先往西北，再轉北方，移動了約 100 公里，卷雲已覆蓋整個台灣。
2020-11-12 中颱 梵高	(1).強度：中颱；(2).2020-11-12-0800 時位置：位於鵝鑾鼻南方約 760 公里之處(菲律賓伊巴附近海域)；(3).颱風路徑(0800~2000 時)：向西水平移動約 200 公里；(4).卷雲分布樣態：卷雲從 1100~1400 都只侷限在台灣中部以南。

圖 31 2013-10-31 等三個颱風 相關的雲圖(圖 A、B、C 中埔里位於雲圖的中心點)



## 陸、結論

### 一、卷雲發生的頻率以及出現時的雲量、厚度之分析探討

- 1.卷雲出現的頻率並不固定，有時候很集中，例如 5~7 月份，有時候很稀少，例如 4 月份。
- 2.卷雲出現最多的月份，通常也是卷雲雲量最多的月份，更是出現厚卷雲最多的月份。

### 二、是什麼樣的天氣導致卷雲出現「量多時長」的雲況？

- 1.當卷雲出現「量多時長」的雲況時，其高空水氣全部來自於熱對流系統，無一例外。不過這熱對流系統大致上可以分成三個類型：(1).單純的熱對流、(2).鋒面型熱對流、(3).熱帶氣旋型熱對流(本次研究只針對其中的颱風型熱對流)。
- 2.導致卷雲出現「量多時長」雲況的鋒面系統，絕大部分是滯留鋒面(即使有些是冷鋒鋒面+滯留鋒面，不過卷雲還是由滯留鋒這一部分造成的)。
- 3.我們把導致卷雲出現「量多時長」雲況的天氣細分為六類：(1).遠方鋒面系統的影響、(2).天氣系統的靠近、(3).外來水氣+本地熱對流的發展、(4).鋒面熱對流系統邊緣掃過台灣、(5).颱風的影響、(6).鋒面在台灣正上方。
- 4.不管是哪一種類型，只要是天氣系統逐漸靠近台灣，卷雲或卷層雲的厚度就會變得比較厚，而且隨著天氣系統愈來愈靠近台灣，愈容易誘發出積雲的發展(常會發展成濃積雲)。

### 三、是什麼樣的天氣導致卷雲出現「量多時短」的雲況？

- 1.我們發現卷雲之所以會出現「量多」，主要是有大量的高空水氣進入，而出現「時短」的最主要原因則是後面沒有持續且足夠多的水氣支援。
- 2.我們把導致卷雲出現「量多時短」雲況的天氣細分為七類：(1).已經消散的熱對流、(2).附近的小規模熱對流、(3).破碎狀熱對流逐漸移進；(4).雲雨帶邊緣掃過台灣；(5).颱風的外圍環流、(6).遠方的鋒面系統、(7).窄雲帶過境。

### 四、是什麼樣的天氣導致卷雲出現特長外形？

- 1.我們發現有三種天氣型態會導致卷雲出現特長外形：(1).附近的強熱流系統、(2).位於鋒面雲帶尾端+高空強風的吹襲、(3).颱風的外圍環流。
- 2.若熱對流發展勢力強大，在發展的過程中，就有可能被高空強風吹出特長密狀卷雲；反

之，當熱對流發展勢力減弱時，卷雲會慢慢變薄，長度則不一定變短。

- 3.如果台灣剛好位於鋒面雲帶的尾端，加上高空有強大的氣流，就有可能出現特長的脊狀卷雲(卷雲條比較稀疏)。
- 4.在秋天，若台灣南方有出現大量卷雲(甚至北移)，或者是南方一直出現中等雲量的卷雲，那八九不離十，一定是颱風造成的(不排除熱帶性低氣壓的可能性)。
- 5.即使颱風遠在千里之外，其所輻散出來的水氣仍可以被高空的氣流吹至台灣，形成卷雲。
- 6.若卷雲由南往北擴延，那表示颱風正向我們逼進；若卷雲的雲量或分布範圍維持不變，那表示颱風與我們的距離保持不變(通當是緩慢的水平移動)。
- 7.強度愈強的颱風，其外圍環流的脊狀結構(屬於外圍環流旋臂的一部分)就愈明顯，當外圍環流的旋臂碰觸到台灣時，我們就會觀察到又寬又長的脊狀卷雲(卷雲條比較密集)。

## 柒、未來展望

我們這次研究只聚焦在卷雲的四個面向，其實卷雲還有多很值得研究的地方，例如

- (1).2017-03-23 這一天下午天空突然出現大量的短毛卷雲，這種現象很罕見，值得好好研究；
- (2).2017-07-07 這一天全台大部分地區都有下雨(圖 8)，似乎跟特長密狀卷雲有密切關係。此外，像卷雲出現「量中時長」的雲況時，或者是「卷雲與午後雷陣雨」等方面，都值得深入探討。

## 捌、參考資料

- 1.黃靜雅譯(2012)。看雲趣—漫遊雲的科學、神話與趣聞。臺北市：遠流出版有限公司。
- 2.中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>
- 3.大氣水文研究資料庫 <https://dbar.pccu.edu.tw/Default.aspx>
- 4.NASA 高解析度衛星雲圖 <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
- 5.紀水上(2014)。卷雲雲型研析及其在劇烈天氣分析與預報之應用。103 年中央氣象局天氣分析與預報研討會。
- 6.夏浪、毛克彪、孫知文、馬瑩(2013)。Suomi NPP VIIRS 數據介紹及其在雲檢測上的應用分析。地球科學前沿，2013，3，271-276。
- 7.趙鳳美、戴聰明、魏合理、朱希娟、馬靜(2018)。基於 MODIS 雲參數的卷雲反射率計算研究。紅外與激光工程，2018，Vol.47，No9。

## 【評語】 030509

觀測多面向且同時也很細膩，對於物理原理以及發生的現象相當清楚。

觀察透徹，描述細膩，有系統地收集數據與分析，為卷雲與天氣變化做出具體成因說明。



# 作品海報

毛起來

卷雲 與 天氣變化

之相關探討

# 摘要

關於卷雲與天氣變化的研究，我們得出以下的結論：(1).卷雲出現的頻率並不固定，大多集中在5~7月份。(2).「量多時長」部分：①與六種天氣型態比較有相關性；②形成卷雲的高空水氣全部來自於熱對流系統(包含滯留鋒型熱對流)；③天氣系統靠近台灣時卷雲就會變得比較厚，也愈容易出現積雲。(3).有七種天氣型態會導致卷雲出現「量多時短」的雲況。(4).有三種天氣型態會導致卷雲出現特長外形。(5).熱對流在強勢發展的過程中，容易被強風吹出特長密狀卷雲。(6).不管是「位於鋒面雲帶尾端+高空有強大的氣流」，或者是颱風，都會形成特長脊狀卷雲(前者卷雲條較稀疏，後者較密集)。(7).我們可以由卷雲的分布判斷出颱風的動態。

## 壹、研究動機

希望藉由研究雲的過程中，對雲有更深入的了解，並解開雲與天氣變化之間的秘密。

## 貳、研究目的

- 一、卷雲發生的頻率以及出現時的雲量、厚度之分析探討
- 二、是什麼樣的天氣導致卷雲出現「量多時長」的雲況？
- 三、是什麼樣的天氣導致卷雲出現「量多時短」的雲況？
- 四、是什麼樣的天氣導致卷雲出現「特長外形」？

## 參、研究設備及器材

觀察雲只要一張紙、一支筆、一台相機，並戴上一副墨鏡，這樣就可以了。若要對雲況做更深入的分析，那還必須加上一台筆電。此外，觀察地點周遭的山頭(圖1、4)也是我們判斷雲況的重要工具。



圖1 大尖山與水社大山

## 肆、研究過程或方法

### (一).觀雲實作

- 1.場地(觀察地點)的選擇：
- 2.觀察時間：我們一天會觀察雲況4次(圖2)，每次大約10分鐘。若遇到特殊的雲況出現時，則會增加觀察的次數和時間。
- 3.雲量的計算：關於雲量的計算方面，我們是採用「十分量」的方式。
- 4.天空的劃分：將天空做適當劃分最主要的目的就是要將雲況做定位，如圖3所示。



圖2 我們平時在觀測地點的觀察方式

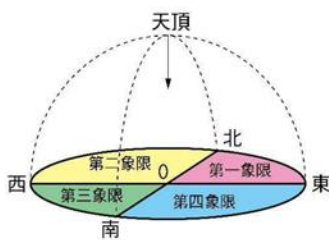


圖3 天空劃分圖

### (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》依照雲底所在的高度將雲分作四族十屬。(1).高雲族：雲底高於6000公尺。(2).中雲族：雲底在2000~6000公尺之間。(3).低雲族：雲底在2000公尺以下。(4).直展雲族：雲底一般在下層，雲頂則延伸到中、上層。底下簡述一下我們辨別雲類的方法與步驟：(1).外觀。(2).雲高(雲底高度)：我們常用以下四個方法來判斷雲高：①山頭參照法：我們會以觀測點附近的山頭(圖4，觀測點在紅色☆所在之處)高度作為判斷雲高的參考點；②手指判斷法；③使用衛星雲圖；④參考斜溫圖。



圖4 埔里附近較高的山

(3).雲底樣態：①陰影；②平整度。(4).維持時間長短：不同雲類維持在天空中的時間並不相同。

### (三).斜溫圖(SkewT-LogP圖)的運用

- 1.探空測站的選取(參考圖5)：要採用哪一個測站的資料，是以風向為最主要考量—看看哪一測站的探空氣球最可能飛近埔里。
- 2.決定雲的高度：針對某些特定的雲類，例如層狀高積雲(我們簡稱為ACS)和高層雲，我們很容易透過斜溫圖得知雲層所在的高度。我們以2017-01-21這一天為例來說明(參考圖6)。
- 3.推測雲對流的強度：我通常會由「大氣穩定度」和「對流可用位能(CAPE)」這二個面向下手，來推斷雲對流的強度。我們舉2013-07-05這一天為例來說明如何由斜溫圖推測雲對流的強度(參考圖7)



圖5 花蓮、台北、馬公測站位置圖

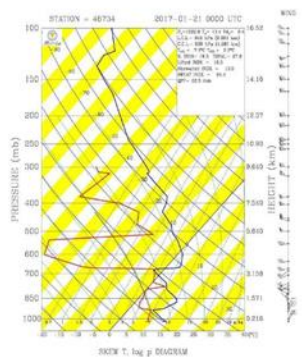


圖6 2017-01-21-0800(馬公)

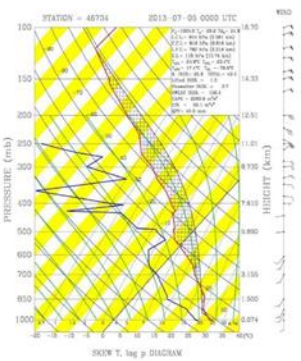


圖7 2013-07-05-0800(馬公)

### (四).氣象衛星的運用

我們最常使用中央氣象局的衛星雲圖，至於NASA繞極衛星的運用方面，說明如下：

- 1.由雲頂高度來判斷雲的種類(參考圖9、圖10)：我們舉2016-11-26這一天的雲況為例，說明如何運用雲頂高度圖來辨別雲的種類。
- 2.用Suomi NPP衛星的卷雲反射率頻道來分析卷雲的形態(參考圖11)。
- 3.實際上若遇到比較棘手的雲況時，我們還會採用更多的衛星資料來做比對，例如：(1).雲光學厚度(Cloud Optical Thickness)頻道(圖11)；(2).多層標標誌(Cloud Multi Layer Flag)頻道。



圖9 Terra真實色衛星雲圖(中心點為埔里)



圖10 此圖為圖9的雲頂高度雲圖

### (五).本次研究的研究架構(圖12)

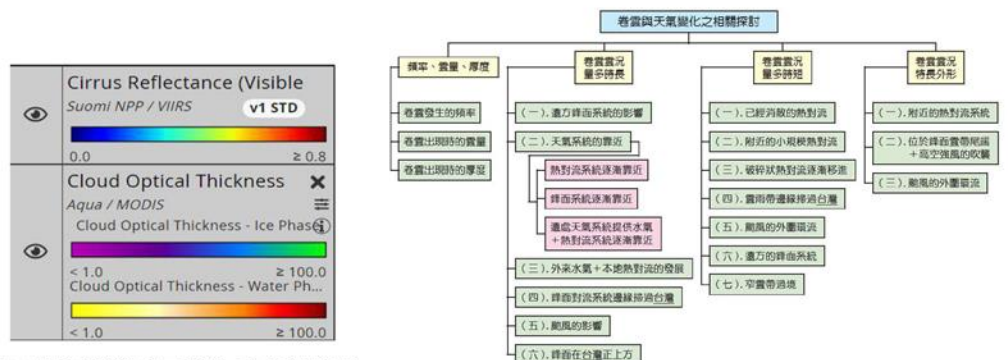


圖11 色塊棒(卷雲反射率+雲光學厚度)

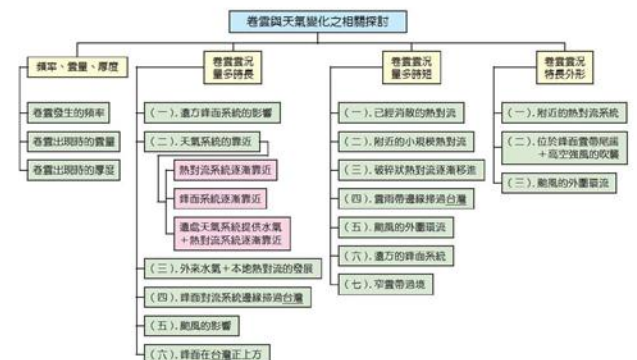


圖12 本次研究之研究架構圖

## 伍、研究結果與討論

### 一、卷雲發生的頻率以及出現時的雲量、厚度之分析探討

1.我們以及學長姊總共對雲況做了1170天的觀察，其中的185天有出現卷雲，而有觀察到卷雲的次數是423次。卷雲大約平均6.25天會出現一次。

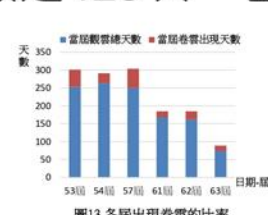


圖13 各類出現卷雲的比率

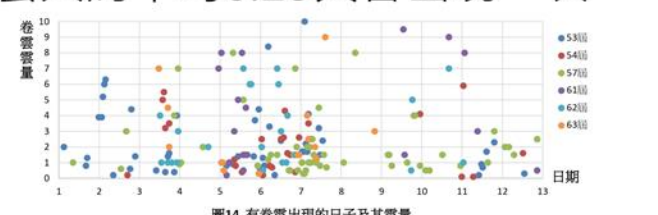


圖14 有卷雲出現的日子及其雲量

- 2.卷雲出現的頻率並不固定，有時很集中，例如5~7三個月份，有時很稀少例如4月份。
- 3.卷雲出現時的雲量大多在3以下
- 4.我們得知卷雲出現最多次的月份，通常也是卷雲雲量最多的月份，更是出現厚卷雲最多的月份。

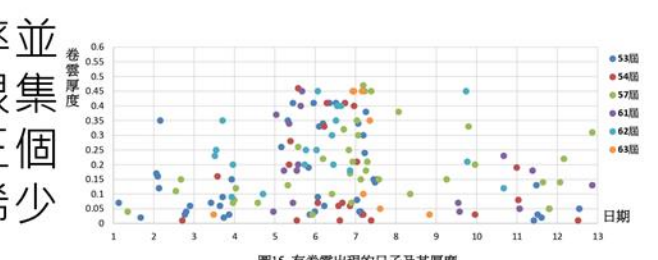
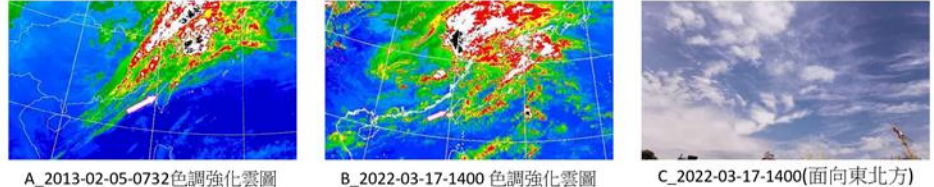


圖15 有卷雲出現的日子及其厚度

# 二、是什麼樣的天氣導致卷雲出現「量多時長」的雲況？

Table with columns for Date and Description of cloud patterns and weather conditions. Includes dates like 2013-07-03, 2020-09-17, 2022-07-19, 2017-02-21, 2017-05-10, 2017-05-18, 2022-05-23, 2022-06-01, 2013-06-06, 2021-05-20, 2022-06-14, 2017-07-09, 2021-05-01, 2013-04-05, 2022-04-17, 2020-10-21, 2022-05-24.

圖22 2013-02-05和2022-03-17這二天的色調強化雲圖與雲況實拍照片



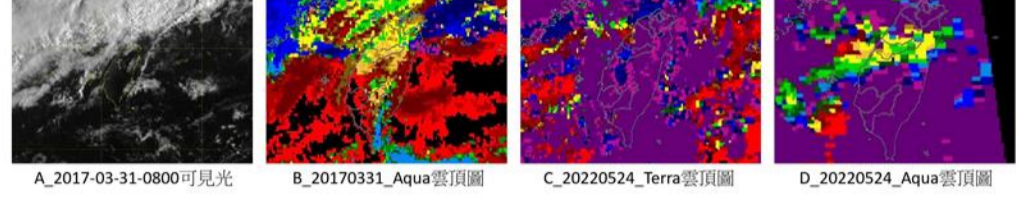
(五).關於「颱風的影響」部分：2020-10-21這一天受到沙德爾颱風的影響。更深入的說明請看深入探討2。

(六).關於「鋒面在台灣正上方」部分：2017-03-31和2022-05-24這二天有鋒面來到台灣正上方，二者的比較分析請參考下表2與圖23所示：

表2 鋒面與卷雲 (2017-03-31和2022-05-24之比較)

Comparison table between 2017-03-31 and 2022-05-24 regarding cloud patterns and weather fronts.

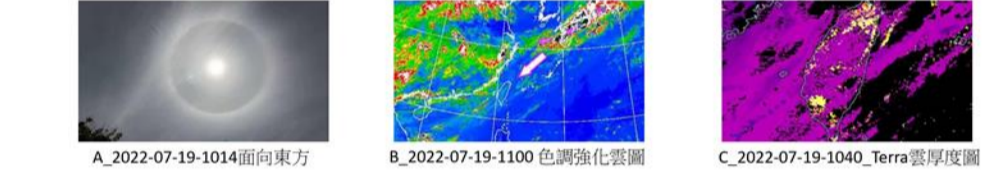
圖23 2017-03-31與2022-05-24 這二天的鋒面之相關雲圖(埔里位於圖形的中心點)



【結果】我們從1170天的雲況觀察中，發現導致卷雲出現「量多時長」雲況的天氣可大致分為六類：(1).遠方鋒面系統的影響、(2).天氣系統的靠近、(3).外來水氣+本地熱對流的發展、(4).鋒面熱對流系統邊緣掃過台灣、(5).颱風的影響、(6).鋒面在台灣正上方。底下分別說明：

(一).關於「遠方鋒面系統的影響」部分：在這種情形下所形成的卷雲或卷層雲，厚度都不厚。我們以2022-07-19這一天為例來說明(參考圖16)：

圖16 2022-07-19這一天相關的天氣圖和實拍照片



(二).關於「天氣系統的靠近」部分：分作三種類型：

- 1.單純外來熱對流系統逐漸靠近：以2017-05-10為例來說明(參考圖17)；
2.鋒面系統逐漸靠近：舉2022-05-23為例來說明(參考圖18)；
3.遠處天氣系統提供水氣+熱對流系統逐漸靠近：以2021-05-20這一天為例來說明(參考圖19、20)；

圖17 2017-05-10 當天的雲況變化(0900-1000)

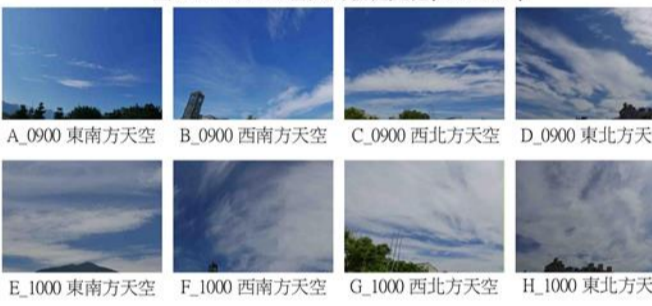


圖18 2022-05-23 當天的雲況變化(0827-1118)

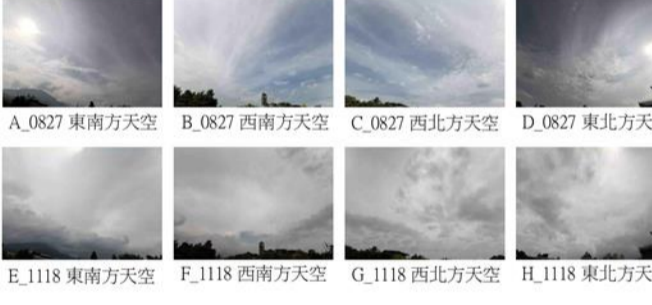
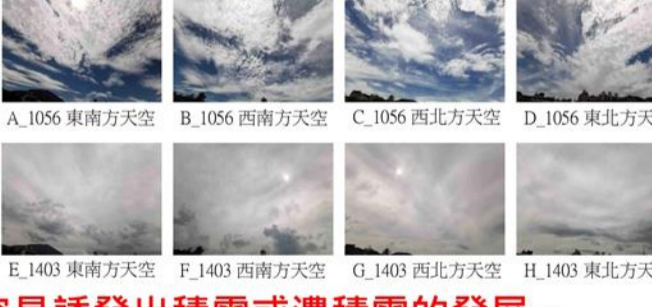


圖19 2021-05-20 當天的雲況變化(1056-1403)



● 不管是哪一種類型，只要是天氣系統逐漸靠近台灣，卷雲或卷層雲的厚度就會變得比較厚
● 隨著天氣系統愈來愈靠近台灣，愈容易誘發出積雲或濃積雲的發展。

圖20 2021-05-20 當天相關的衛星雲圖

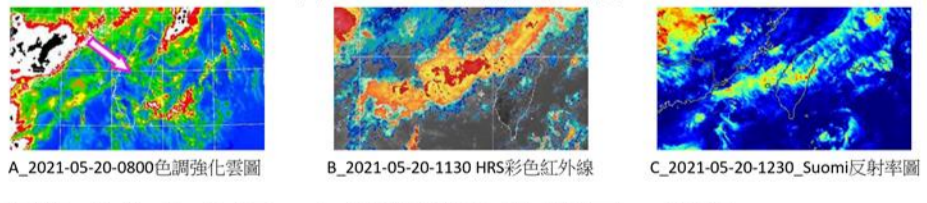


圖21 2017-07-09 當天的雲況變化(0903-1131)



(三).關於「外來水氣+本地熱對流的發展」部分：

這個標題是「外來水氣持續輸入，本地也相應發展出熱對流」的意思。我們以2017-07-09這一天為例來說明(參考圖21)：

(四).關於「鋒面熱對流系統邊緣掃過台灣」部分：有2013-02-05和2022-03-17這二天實例，說明如下(參考圖22)：

【結果】我們把導致卷雲出現「量多時短」雲況的天氣細分為七類：(1).已經消散的熱對流、(2).附近的小規模熱對流、(3).破碎狀熱對流逐漸移進；(4).雲雨帶邊緣掃過台灣；(5).颱風的外圍環流、(6).遠方的鋒面系統、(7).窄雲帶過境。底下分別說明：

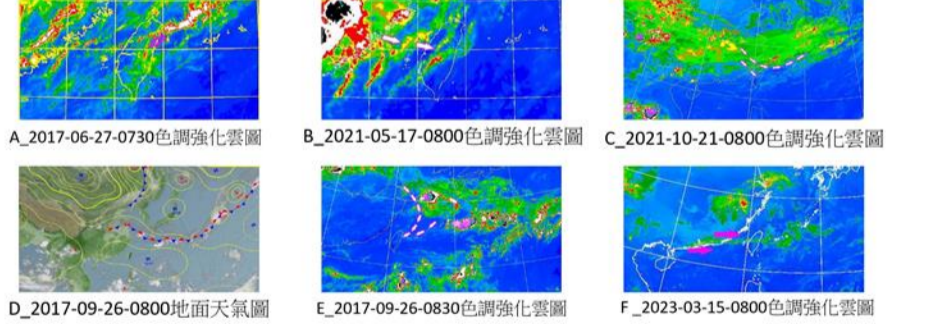
◎關於「已經消散的熱對流」部分：我們舉2022-05-18為例來說明(參考圖24)：

圖24 2022-05-18 當天的雲況變化(0821-1418)

◎關於「附近小規模熱對流」等六個部分，請參考表3和圖25。



圖25 量多時短-相關的雲圖與天氣圖



## 四、是什麼樣的天氣導致卷雲出現特長外形？

(一).跟「附近的強熱對流系統」有關聯：以2017-07-07為例來說明(表4和圖26)：強熱對流在發展的過程中，會被高空強風吹出特長密狀卷雲；反之，當強熱對流減弱時，卷雲會慢慢變薄，長度則不一定變短。

圖26 2017-07-07\_相關的雲圖與密狀長卷雲照片

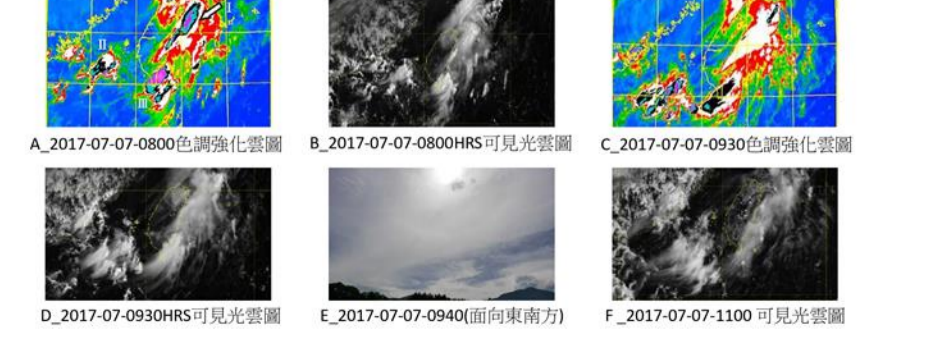


表4 2017-07-07\_I號、II號和III號熱對流之相關說明

日期	特長卷雲雲況及相關天氣狀況之說明
主熱對流 I 號 宜蘭近海	(1) 當天主要雲況變化：卷雲 2(高積雲 2(0920)→積雲 2→濃積雲 10→灰白雲布滿天空。(2) 卷雲高度：大多大於 12000m。(3) 高空風向：東北風(200hpa)。(4) 特長卷雲說明：0940 出現一條又寬又長的卷雲(東北-西南走向)。(5) 熱對流說明：① 前一天整個台灣西南和東部近海有發展出強大的熱對流；② 到 7 號凌晨時，東部近海的熱對流大多消散，只剩在東北近海處在發展；③ 接著宜蘭及其近海也發展出熱對流；④ 0200 時兩股熱對流合併在一起，並逐漸往南和西南方壯大勢力；⑤ 1000 時熱對流主體東移，並逐漸減弱。(6) 鋒面說明：① 帶雨鋒(左)+冷鋒(右)；② 位置與長度：很長，直達南部-日本九州-向東北方延伸至太平洋處。
II 號 熱對流	(1) 位置：澎湖南方海面。(2) 熱對流發展：① 0430 時，熱對流於澎湖望安附近開始發展起來；接著不斷往西南方發展；② 0800 時，對流主體已在西南方位移了約 1~2 百公里(圖 26A)；③ 1030 時呈現減弱狀態；④ 1230 時又重新發展起來；⑤ 1400 時發展勢力消退，仍殘留一些水氣。
III 號 熱對流	(1) 位置：臺中附近。(2) 熱對流發展：① 0530 時，熱對流於臺中附近開始發展起來，接著不斷往西南方發展；② 0800 時，對流主體已擴大到覆蓋整個臺中及附近海域(圖 26A)；③ 1030 時發展勢力減弱；④ 1300 時又重新發展起來。

(二). 「位於鋒面雲帶尾端+高空強風的吹襲」部分：

舉例說明如下(參考表5和圖27、圖28)：

- 1. 2016-12-09：
- 2. 2021-04-30：

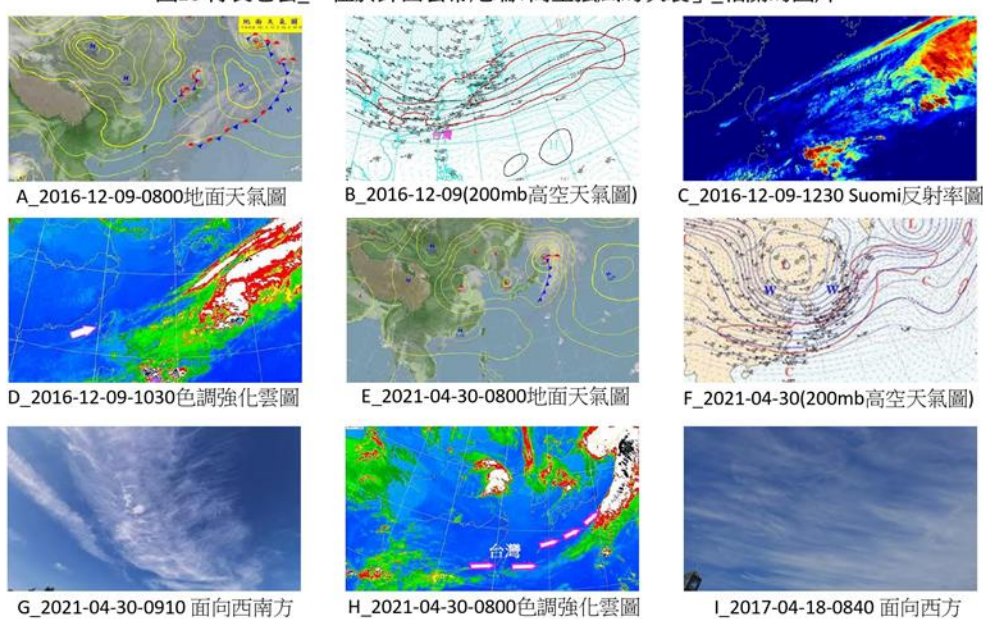
圖27 2016-12-09 當天的雲況變化(1020時~1110時)



表5 當出現特長卷雲時「位於鋒面雲帶尾端+高空強風的吹襲」部分

日期	特長卷雲雲況及相關天氣狀況之說明
2016-12-09	(1) 當天主要雲況變化：絮狀卷雲 2(0900)→卷雲+卷積雲 5，還有少量高積雲→雲量極少→□。(2) 卷雲水氣源頭：高空水氣來自台灣和海南島中間的南海海域(圖 28D)(水氣量不多)。(3) 風向與風速(300hpa)：西南西風、70kt。(4) 卷雲高度：大多落在 10000m 左右。
2021-04-30	(1) 當天主要雲況變化：0→卷雲 7(西北方有密卷雲)→積雲 1.5(西北方有濃積雲在發展)→卷雲+卷積雲 2。(2) 卷雲水氣源頭：來自福建沿海(水氣量不多)。(3) 風向與風速(200hpa)：西風、80kt。(4) 卷雲高度：大多落在 11000~12000m 之間。

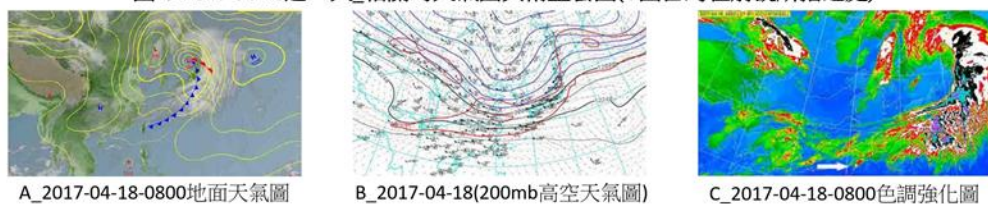
圖28 特長卷雲「位於鋒面雲帶尾端+高空強風的吹襲」相關的圖片



【深入探討1】如果鋒面系統距離台灣比較近，那卷雲會不會被拉得比較長？

答：不一定。我們以2017-04-18這一天為例來說明(參考圖29)：

圖29 2017-04-18這一天 相關的天氣圖與衛星雲圖(C圖台灣在箭號所指之處)



(三). 跟「颱風的外圍環流」有關係：

表6 特長卷雲 跟「颱風的外圍環流」有關係

日期	特長卷雲雲況及相關天氣狀況之說明
2016-11-25 輕颯颯	(1) 當天主要雲況變化：高積雲 7(0800)→卷雲 3(0900)→有傾斜的能光 ACS 5→卷雲 2.8(1420)→灰白雲 1(1600)。(2) 卷雲水氣源頭：高空水氣來自台灣西南方海面(受到颶風高空輻散環流影響)。(3) 風向：西南風轉西南西風(200hpa) 60kt。氣流從東部海域以順時針的方式繞過台灣半島(850hpa)。(4) 卷雲高度：大多在 12000m 以上。
2020-11-12 中颯颯	(1) 當天主要雲況變化：層雲 3.5→卷雲 3(一羣片都集中在南方)→能光 ACS10Aqua：有不少卷雲在 ACS 上方→ACS+卷雲 2(橫帶帶至南北向，卷雲呈東西向)。(2) 卷雲水氣源頭：來自颶風的外圍環流。(3) 風向：西南風轉西南西風(200hpa) 東北東風(850hpa)。(4) 卷雲高度：大多在 12000m 以上。

- 1. 2016-11-25：受到颶虎(TOKAGE)颱風的外圍環流輻散出來的水氣影響。
- 2. 2020-11-12：受到梵高(VAMCO)颱風外圍環流的影響。

圖30 特長卷雲 跟「颱風的外圍環流」有關係 相關的圖片

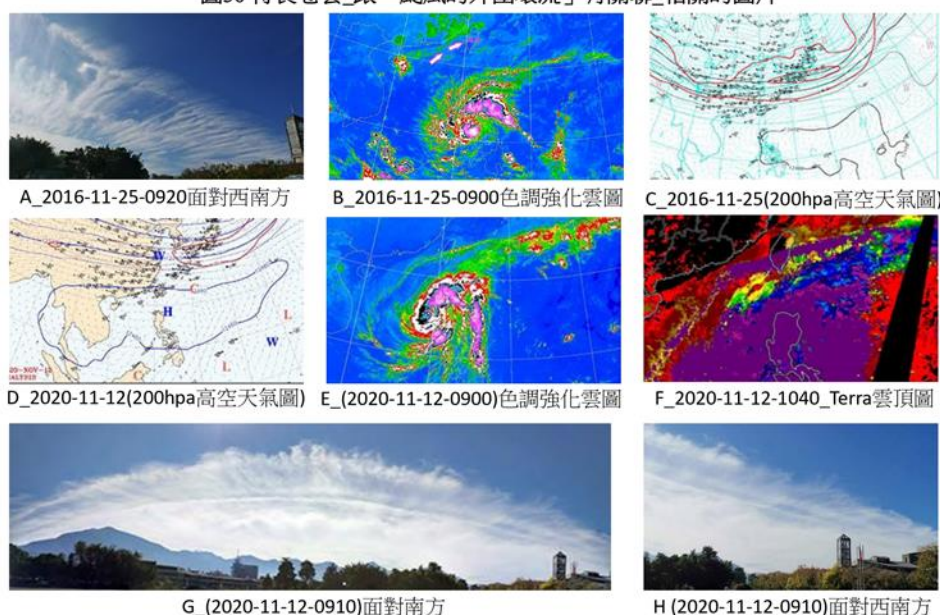
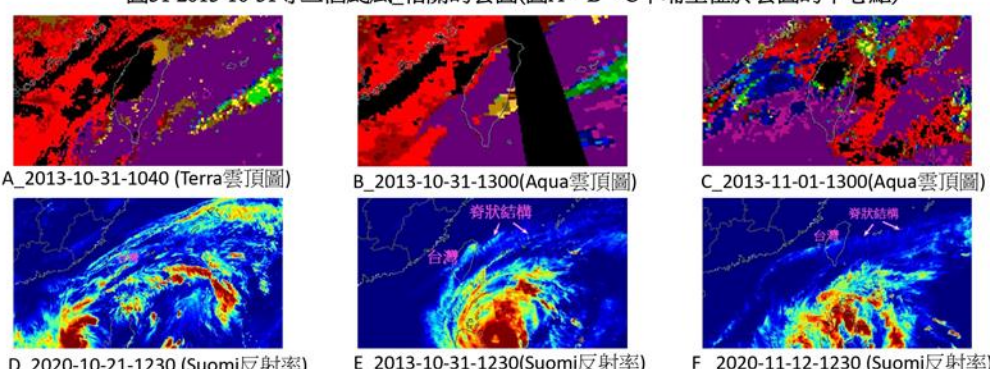


表7 颱風的移動路徑與卷雲的分布樣態之關係

日期	特長卷雲雲況及相關天氣狀況之說明
2020-10-21 沙德颶	(1) 強度：輕颶；(2) 2020-10-21-0800 時位置：位於台灣西南方海面的 710 公里之處(距離宜蘭近海)；(3) 颱風路徑(0800-2000 時)：幾乎水平移動；(4) 卷雲分布樣態：當天全台一直維持大量的卷雲；前一天卷雲只分布在南部。
2013-10-31 柯羅莎	(1) 強度：中颶；(2) 0800 時位置：位於台灣東南方外海的 600km 之處(距離宜蘭至基隆北部的東方約 290 公里海面)；(3) 2013-11-01：位於台灣西南方外海的 370 公里之處(距離宜蘭至基隆北部的西北方約 100 公里海面)；(4) 颱風路徑(0800-2000 時)：① 2013-10-31：往西北西方移動約 200 公里；② 2013-11-01：往西北西移動約 100 公里，再往西移動約 100 公里；(5) 卷雲分布樣態：① 2013-10-31：卷雲由南至北擴張；② 2013-11-01：卷雲由北往南減弱。
2016-11-25 颶虎	(1) 強度：輕颶；(2) 2016-11-25-0800 時位置：位於台灣南方外海的 1190 公里處(距離宜蘭至基隆)；(3) 颱風路徑(0800-2000 時)：往西北西方移動約 200 公里；(4) 卷雲分布樣態：① 11/25 當天因為颶風距離比較遠，總的持續有出現卷雲，但數量不多；② 11/26：颶風又在西北西方移動了約 400 公里，台灣南部已出現大量的卷雲；③ 11/27：颶風先往西北，再轉西北，移動了約 100 公里，卷雲已覆蓋整個台灣。
2020-11-12 梵高	(1) 強度：中颶；(2) 2020-11-12-0800 時位置：位於台灣南方外海的 760 公里之處(距離宜蘭近海)；(3) 颱風路徑(0800-2000 時)：向西水平移動約 200 公里；(4) 卷雲分布樣態：卷雲從 1100-1400 都只局限在位置中部以南。

圖31 2013-10-31等三個颱風 相關的雲圖(圖A、B、C中埔里位於雲圖的中心點)



【深入探討2】請問可不可以把颱風和卷雲之間的關聯性做一個較全面且深入的探討？

- 1. 從卷雲的雲量與分布來看(參考表1、3、6、7和圖31)：
- 2. 從脊狀卷雲來看(參考表1、3、6、7和圖31)：

陸、結論

一、卷雲發生的頻率以及出現時的雲量、厚度之分析探討

- 1. 卷雲出現的頻率並不固定，有時候很集中，例如5~7月份，有時候很稀少，例如4月份。
- 2. 卷雲出現最多的月份，通常也是卷雲雲量最多的月份，更是出現厚卷雲最多的月份。

二、是什麼樣的天氣導致卷雲出現「量多時長」的雲況？

- 1. 當卷雲出現「量多時長」的雲況時，其高空水氣全部來自於熱對流系統，無一例外。
- 2. 導致卷雲出現「量多時長」雲況的鋒面系統，絕大部分是滯留鋒面。
- 3. 我們把導致卷雲出現「量多時長」雲況的天氣細分為六種類型。
- 4. 不管是哪一種類型，只要是天氣系統逐漸靠近台灣，卷雲或卷層雲的厚度就會變得比較厚，而且隨著天氣系統愈來愈靠近台灣，愈容易誘發出積雲的發展(常會發展成濃積雲)。

三、是什麼樣的天氣導致卷雲出現「量多時短」的雲況？

- 1. 卷雲之所以會出現「量多」，主要是有大量的高空水氣進入，而出現「時短」的最主要原因則是後面沒有持續且足夠多的水氣支援。
- 2. 我們把導致卷雲出現「量多時短」雲況的天氣細分為七種類型。

四、是什麼樣的天氣導致卷雲出現特長外形？

- 1. 我們發現有三種天氣型態會導致卷雲出現特長外形：(1).附近的強熱流系統、(2).位於鋒面雲帶尾端+高空強風的吹襲、(3).颱風的外圍環流
- 2. 若熱對流發展勢力強大，在發展的過程中，就有可能被高空強風吹出特長密狀卷雲；反之，當熱對流發展勢力減弱時，卷雲會慢慢變薄，長度則不一定變短。
- 3. 如果台灣剛好位於鋒面雲帶的尾端，加上高空有強大的氣流，就有可能出現特長的脊狀卷雲(卷雲條比較稀疏)。
- 4. 在秋天，若台灣南方有出現大量卷雲(甚至北移)，或者是南方一直出現中等雲量的卷雲，那八九不離十，一定是颱風造成的。
- 5. 即使颱風遠在千里之外，其所輻散出來的水氣仍可以被高空的氣流吹至台灣，形成卷雲。
- 6. 若卷雲由南往北擴延，那表示颱風正向我們逼進；若卷雲的雲量或分布範圍維持不變，那表示颱風與我們的距離保持不變(通常是緩慢的水平移動)。
- 7. 強度愈強的颱風，其外圍環流的脊狀結構(屬於外圍環流旋臂的一部分)就愈明顯，當外圍環流的旋臂碰觸到台灣時，我們就會觀察到又寬又長的脊狀卷雲(卷雲條比較密集)。

柒、未來展望 捌、參考資料

- 1. 中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>
- 2. 大氣水文研究資料 <https://dbar.pccu.edu.tw/Default.aspx>
- 3. NASA高解析度衛星雲圖 <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
- 4. 紀水上(2014)。卷雲雲型研析及其在劇烈天氣分析與預報之應用。103年中央氣象局天氣分析與預報研討會。