

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

探究精神獎

030510

層狀高積雲與天氣變化之探討

學校名稱：南投縣立宏仁國民中學

作者： 國一 廖英賀 國一 嚴靖皓 國一 余彥霆	指導老師： 蔡永已 喬緯中
---	-----------------------------

關鍵詞：高積雲、斜溫圖、穩定層

摘要

我們這次研究，首先嘗試從斜溫圖分析穩定層與濕度對層狀高積雲(ACS)有何影響：(1). 我們發現穩定層底部的高度愈一致，ACS 的層狀結構就愈能維持住；(2). 濕度決定 ACS 的雲量；(3). 穩定層是經常性的、大範圍的分布。其次，我們也由雲系變化來探討 ACS 的形成方式：(1). 若當天一早就出現 ACS，大多是受到外來系統的影響—①鋒面的接近、②冷高壓系統的移動、③颱風的外圍環流、④華南雲雨區的東移或南方雲系的北移，而不同系統所形成的 ACS 雲況通常也具有某種規則性；(2). 在雲系轉換方面，我們發現高層雲、積雲、卷雲和卷積雲都可以轉換成高積雲；(3). 甚至在晴空之下，也可能突然就誕生出 ACS。

壹、研究動機

為什麼要做「雲」科展呢？平時，沒事的時候，總喜歡躺在青青的草地上，看著天上的雲—看著雲在天空安逸地漂盪，看著雲的變化莫測—不知不覺，你會和它融成一體，一起翱翔於滄茫虛空，多美妙的感覺啊！所以，雲就像是我的好朋友一樣，陪伴著我度過許多個春夏秋冬。進入國中就讀後，得知有這樣一個可以研究雲的科展，立即就加入了這個團隊。希望能藉由這次科展的機會，攜手我的「雲朋友」，徜徉於夢幻的雲國度，來一次兼具知性與感性的深度之旅。

貳、研究目的

我們這次研究，首先聚焦在「穩定層」和「濕度」這二個天氣因子對層狀高積雲形成的影響，接著再藉由雲系變化來探討層狀高積雲的形成方式。我們的研究目的如下：

- 一、層狀高積雲與「穩定層」、「濕度」之相關探討
- 二、由雲系變化來探討層狀高積雲的形成方式

參、研究器材與設備

一般而言，觀察雲並不需要特殊的器材與設備，只要用眼睛觀察，再以紙、筆記錄下來就可以了(圖 1 所示為我們平時在觀測點的觀察方式)。目前，各種先進科技設備所測得的氣象資料大多可以在網路上查得到，若能善用這些資訊，應該可以讓雲與天氣變化的研究更有效率，也更為精確；因此，除了中央氣象局之外，很幸運的，我們也找到幾個重要的氣象網站，

像「觀測資料查詢系統」、「大氣水文研究資料庫」和「NASA 的高解析度衛星雲圖」等等，讓我們獲益匪淺。其次，因為日月潭氣象站(圖 2)距離埔里並不遠，所以如果有必要的話，我們也會請求站內氣象工作人員的協助。



圖 1 我們平時在觀測地點的觀察方式



圖 2 日月潭氣象站

肆、研究過程或方法

雲的種類十分複雜，一般人若沒有經過訓練，恐怕很難正確辨識。世界氣象組織(WMO)所出版的《國際雲圖》把雲依照高度和外型分作四族十屬，各雲屬又細分為「主要種類」、「變型」、「副型」和「附屬雲」，這些雲類加起來起碼有數百種以上。若就實際觀察而言，雲的種類尚不只如此，因為這中間還存在著許多變化。其次，就如王寶貫教授所說的「我們對雲的形成和發展的確切機制尚未完全了解」，因此，要分析雲與天氣變化之間的關聯性也是十分困難的。基於以上二個原因，加上雲與天氣變化相關的實證研究並不多，所以我們在做雲的研究時，嘗試過許多不同的研究方法，在無數次的錯誤與不斷地修正中，才建立出一套研究雲的 SOP(如圖 3 所示)。至於說本次研究的主題「層狀高積雲與天氣變化之探討」，其研究架構如圖 4 所示。

研究雲，首先必須找到一個優質的觀察地點。我們選擇學校的操場(圖 1)作為觀察地點，因為它具備安全、便利和視野廣大等條件。在觀察時間點方面，我們每天 8 點、11 點、14 點和 17 點各觀察一次。如果目標雲況出現，我們會對雲況進行拍照或攝影。

我們的研究是建立在正確的雲況觀察之上，若雲況觀察錯誤，後面做再多的分析，都失去了意義。因此，學會如何正確地觀察雲是我們最重要的課題。從有關雲的書籍或文獻資料的學習，到能夠在現場正確地觀察雲，這中間要跨越許多門檻，若沒有經驗豐富的前輩加以

引導，往往會半途而廢。即使到目前為止，我們觀察雲況已經將近一年，仍必須不斷地修正與學習。

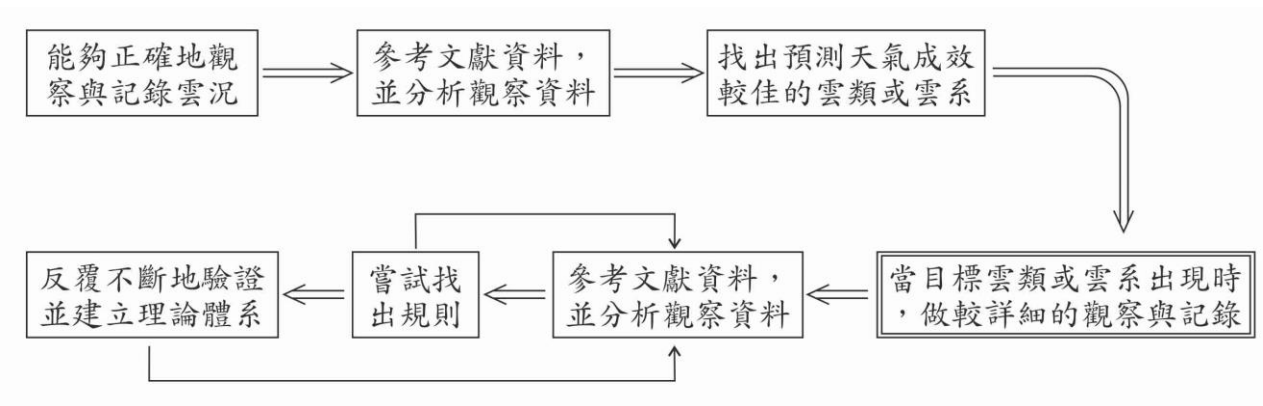


圖 3 研究雲的 SOP 簡化流程圖

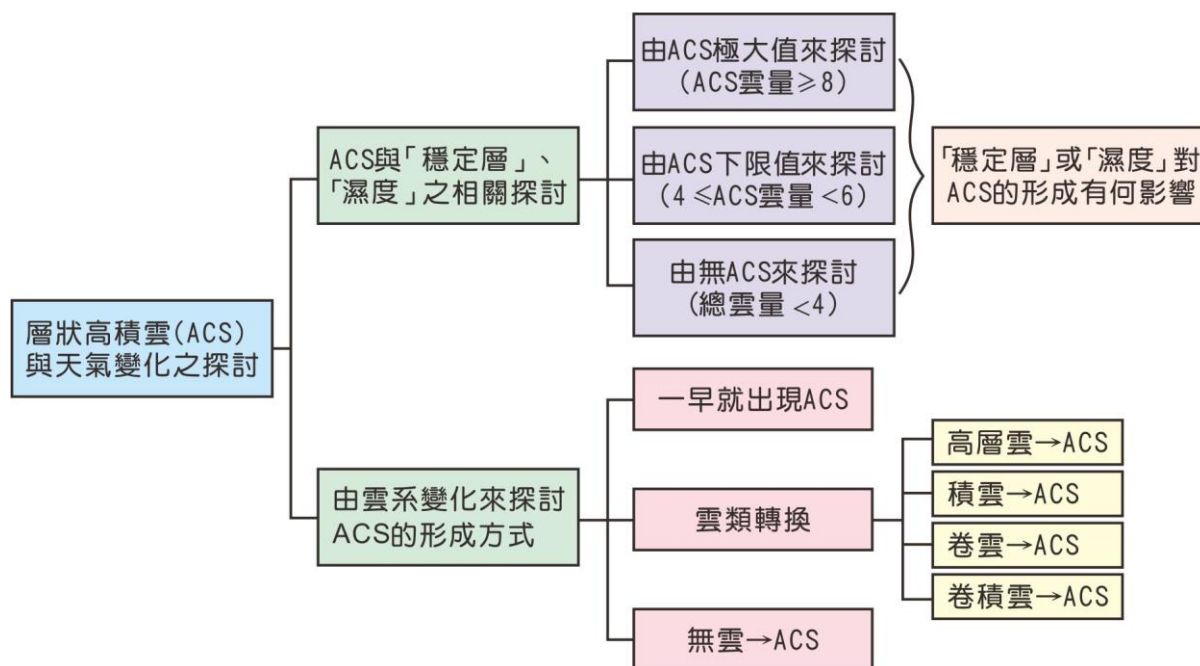


圖 4 本次研究之研究架構圖

雲的判斷有難易之分，我們粗略把它分作三個等級：

- 1.較好判斷的雲類：例如卷雲、波狀卷積雲、層狀高積雲、兩層雲、濃積雲等等。這些雲類只要從外觀就可以判斷出來。
- 2.判斷難度中等的雲類：例如網狀卷積雲、網狀高積雲(圖 14)、層積雲等等。這些雲類除了從外觀下手之外，有時還要搭配雲高。雲高的判斷方法有很多，若要區別層積雲與高積雲，通常可以運用觀察地點附近的山頭(如圖 7 所示，紅色星號所標記之處就是我們的觀測地點)。

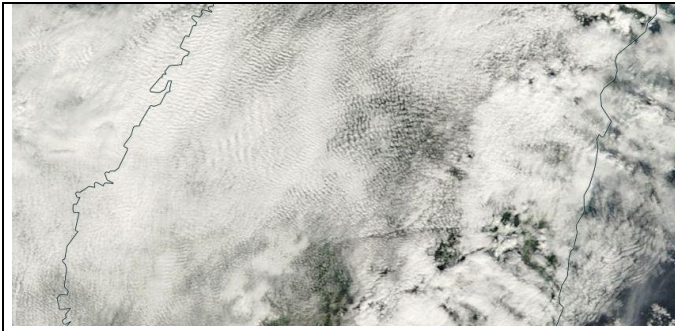


圖 5 Terra 拍攝的衛星雲圖（圖中的中心點為埔里）

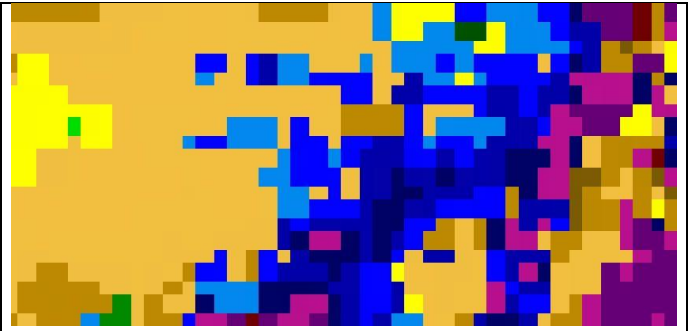



圖 6 此圖為圖 6 的雲頂高度圖--Cloud Top Height

註 1：圖 6 的雲頂高度可以用色塊棒  來判斷。黃色為 4800~5600m，往右的色塊依序加 800m，往左則依序減 800m；由此圖我們可以很輕易地辨別卷積雲和高積雲。

3.較難判斷的雲類：例如「卷層雲和高而薄的高層雲往往不容易分辨」、「高積雲有時容易和淡積雲混淆」、「卷積雲有時容易和較高的高積雲混淆」等等。我們現在以卷積雲和高積雲為例，來說明判斷的方法：

(1).外觀：卷積雲的雲塊較小，類似國王鯖魚的鱗片；高積雲的雲塊較大，類似鯉魚的鱗片。

(2).雲高：我們有二種方法：
①.利用手指判斷：一指可遮住的為卷積雲，雲塊大小介於一到三指之間的為高積雲，大於三指的則為層積雲；
②.衛星雲圖：若是雲層不是很厚，我們會利用紅外線衛星雲圖來判斷雲高，

或者利用 NASA 的 Terra 衛星來判斷雲高(Terra 衛星有顯示雲頂高度的頻道)（圖 5、圖 6）。
(3).陰影：高積雲的雲底通常會有陰影，卷積雲的雲底則沒有。
(4).維持時間長短：高積雲在天空中維持的時間較卷積雲久。
(5).斜溫圖：由穩定層、各層大氣的溼度、氣塊舉升線等方面來綜合研判。
(6).詢問指導老師或附近的氣象站觀測人員。若是以上的方法都還是判斷不出來，我們會把相關的影像或資料留存，日後再慢慢查證。



圖7 埔里附近較高的山頭

伍、研究結果與討論

底下根據我們的二個研究目的，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、層狀高積雲與「穩定層」、「濕度」之相關探討

什麼是「層狀高積雲」呢？層狀高積雲的英文名稱為 *Altostratus stratiformis*，簡稱 *Acstr* (為了記錄上的方便，我們簡稱為 *Acs*)。層狀高積雲屬於高積雲的一種，在十屬雲的分類中，高積雲屬於中雲族，**典型高積雲雲底在 2000~6000 公尺之間，通常會一大片獨立雲塊積聚在一起，往水平方向發展**。日本氣象學者荒木健太郎對層狀高積雲的描述如下：「呈片狀或層狀分布，可能為分離或相黏，經常可見，會形成宛如綿羊群聚般的可愛模樣。」(吳怡文譯，2020) 下一頁中的圖 9~圖 14 是幾種比較常見的層狀高積雲(都是我們在學校或家裡附近拍到的)。

1802 年，英國業餘氣象學者何華特(Luke Howard) 首開先例為雲命名。1896 年，國際氣象會議「雲委員會」沿用何華特的命名，並出版了《國際雲圖鑑》。此書歷經了聯合國世界氣象組織(WMO)數度改版。1956 年版，將雲歸納為十屬，並在基本的十屬之內再細分出若干雲類、變型、副型與附屬雲。根據《國際雲圖鑑》，高積雲的主要種類有四種：(1).層狀高積雲、(2).莢狀高積雲、(3).堡狀高積雲、(4).絮狀高積雲，其變型主要有以下幾種：(1).透光高積雲、(2).漏光高積雲、(3).蔽光高積雲、(4).重疊高積雲、(5).波狀高積雲、(6).輻射狀高積雲、(7).網狀高積雲。

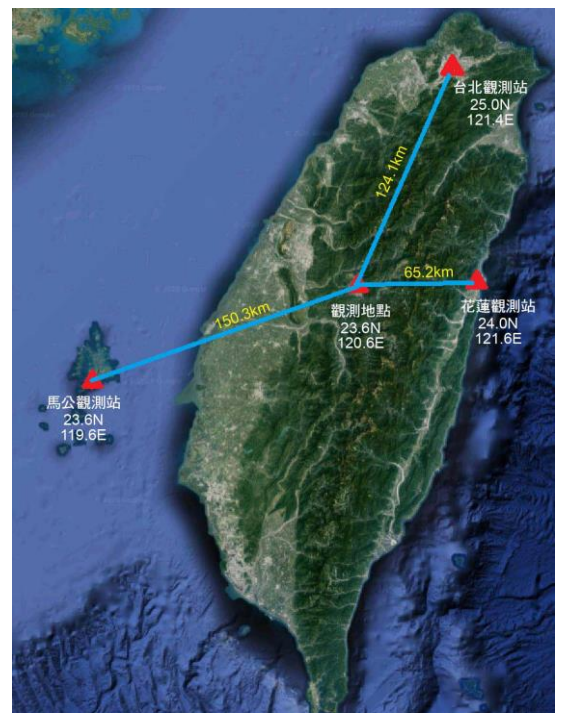


圖8 馬公、花蓮和台北測站位置圖

高積雲是怎麼形成的呢？我們從文獻資料得知：(1).層狀高積雲：**一般而言，高積雲頂部往往會有一個穩定的逆溫層覆蓋著，導致雲層往水平方向發展**。高積雲的形成大多和空氣的波動有關——當空氣如海浪般波動時，在波峰處空氣上升，形成雲朵，在波谷處空氣下沉，無雲產生。若上下兩層都有波狀運動產生，而波動方向又不一致，就會形成棋盤狀的高積雲。(2).莢狀高積雲(圖 38-0800)：通常有二種方式：①在冷鋒前方，上升氣流中的波動運動形成波

狀高積雲，接著雲體進入下沉氣流區，上下匯合形成莢狀高積雲；②潮溼的氣流遇到山岳，被迫往上爬升，形成雲朵，其中有些水氣會翻越山頂，若恰好山的背風面有一個「駐波」，則這些水氣便會在駐波的波峰處形成莢狀高積雲。(3).堡狀高積雲：較強的上升氣流挾帶著水氣，突破逆溫層，形成有如城堡狀的雲。



圖 9 蔽光 ACS



圖 10 波狀 ACS



圖 11 絮狀 ACS



圖 12 棉球狀 ACS



圖 13 龜甲 ACS

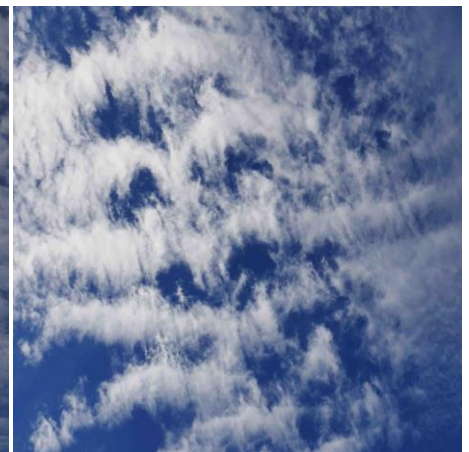


圖 14 網狀 ACS



圖 15 像一隻鳥的 ACS



圖 16 夕陽照耀下的 ACS



圖 17 破洞中有羽毛的 ACS

註 2：圖 17 中的羽毛是怎麼回事？根據王寶貴教授的說法：高積雲中往往存在著許多過冷水，若此時恰好有飛機經過，其所造成的擾動，會促使這些過冷水快速結晶，並以冰晶的方式往下墜落，而形成絲縷狀的結構。

既然層狀高積雲的形成和穩定層（尤其是逆溫層）有非常密切的關係，那麼我們就決定先從穩定層下手。可是要用哪一個測站的探空資料呢？我們主要參考馬公機場(圖 8)的探空資料。為什麼？雖然花蓮測站距離埔里比較近，但是在我們主要的研究期間(9 月~隔年 5 月)，中、高空主要是吹西風或西南風(劉昭民，2001)(我們經由斜溫圖的風向分析，也發現馬公上空的風向大多是吹西風或西南風)，因此，花蓮的探空氣球大多被吹向太平洋，而馬公的探空氣球則大多可以吹來台灣中部上空。其次，我們更想進一步確定穩定層的分布範圍，所以除了馬公測站之外，我們也會加入花蓮和台北二個探空站(圖 8)一併分析。

【結果】

我們這個研究目的又可細分為四個小主題：(1).ACS 要產生極大值(雲量極多+維持時間長)，有何條件？(2).若 ACS 產生下限值(下限雲量+維持時間短)，是何原因？(3).若無 ACS，則那一天大氣中是否就沒有存在穩定層？(4).穩定層或濕度對 ACS 的形成各有何影響？底下即針對這四個小主題，依序探討：

(一).ACS 要產生極大值(雲量極多+維持時間長)，有何條件？

我們把 ACS 雲量區分為「極大值雲量(ACS 雲量 ≥ 8)」、「中間值雲量($6 \leq ACS$ 雲量 < 8)」和「下限值雲量($4 \leq ACS$ 雲量 < 6)」三個等級。什麼是「ACS 極大值」？我們的界定如下：「在連續二個觀測時間點之內，雲量都能維持在 8 以上」。為什麼要做「ACS 極大值」的分析呢？因為極大值兼具「雲量極多」和「維持時間長」二個特點，對天氣的變化(尤其是冷鋒鋒面)有較大的關聯性。至於說為什麼要取雲量 8 呢？理由有二：(1).因為我們觀察到很多鋒面來到台灣上空(或者接近台灣)時，天空都會出現雲量大於 8 的層狀高積雲；(2).我們曾經試著把雲量降至 7 來分析，結果規則性並不明顯，所以我們覺得 8 是一個重要的「分水嶺」。

我們手頭上總共有四個年度的觀雲記錄，其中有出現 ACS 雲況的總共 173 筆。在這 173 筆資料中，符合 ACS 極大值的只有 13 筆(如下表 1 所示)(雲況請參考附錄-表 1)。在表 1 中，我們針對這 13 筆資料，再進一步分析當天大氣的「穩定度」和「濕度」—我們採用「馬公」、「花蓮」和「台北」三個觀測站的探空斜溫圖來分析。

在表 1 的分析中我們採用了幾個自訂的名詞，在此有必要先解釋一下。首先，在穩定層的分析當中，我們使用了「強穩定層」這個名詞，這是什麼意思？一般而言，若空氣塊的溫

度比周遭環境高，此時空氣塊就可以往上升，這種情況稱為不穩定；反之，若空氣塊的溫度比周遭環境低，此時空氣塊就無法往上升，這種情況稱為穩定。因為逆溫層（在此層大氣中，氣溫會隨著高度上升而上升）是穩定層的極端狀態，所以我們把探空圖中溫度曲線接近逆溫層的大氣層，稱作「強穩定層」。

註 3：大氣的穩定度大致可分為以下三個類型：(1).絕對穩定度：空氣塊一直保持在原來的高度，其條件為：環境直減率<溼絕熱直減率。(2).絕對不穩定度：空氣塊會持續往上升，其條件為：環境直減率>乾絕熱直減率。(3).條件不穩定度：空氣塊的穩定度視其本身飽和或不飽和而定(若飽和，則不穩定；若不飽和，則穩定)。

其次，關於大氣濕度的分析方面，我們是如何界定濕度的量值大小呢？我們以 ACS 極大值的其中一天(2017-2-1)為例來說明：(1).由圖 18 得知：①.0800 時 ACS 所在的高度應該在 3150 ~ 4400m 之間(Terra 衛星所顯示的高度為 3150~4800m)；②.ACS 所在高度的平均濕度相當高。(2).2017-2-1 當天早上的雲況是透光 ACS8，在這麼高的濕度下怎麼只出現最薄的 ACS？是受到低層大氣太乾燥的影響嗎？確實如此。請看圖 19，ACS 所在區域大多飽和，而大氣低層的濕度和 0800 時一樣乾燥，結果 1700 時只出現漏光 ACS(根據觀察經驗，在飽和的情況下大多會出現蔽光 ACS)。所以，不管是早上 8 點或下午 5 點，兩者同樣都因為低層大氣太乾燥，雲況被降了一個等級。(3).根據以上的分析，我們斷定 0800 時 ACS 所在高度的濕度應該是濕度高的底限——因為濕度若再低一點，恐怕就看不到雲朵了。因此，我們訂定 0800 時 3150~4400m 之間的中點為「濕度高的底限」。若此時斜溫圖上溫度曲線和露點曲線的間距以 W 表示，則「濕度中上的底限」我們定為「濕度高底限」×2（意思是 $W \times 2$ ），「濕度中等的底限」為 $W \times 3$ ，「濕度低的底限」為 $W \times 4$ ，比「濕度低」更乾燥的則稱之為「十分乾燥」。

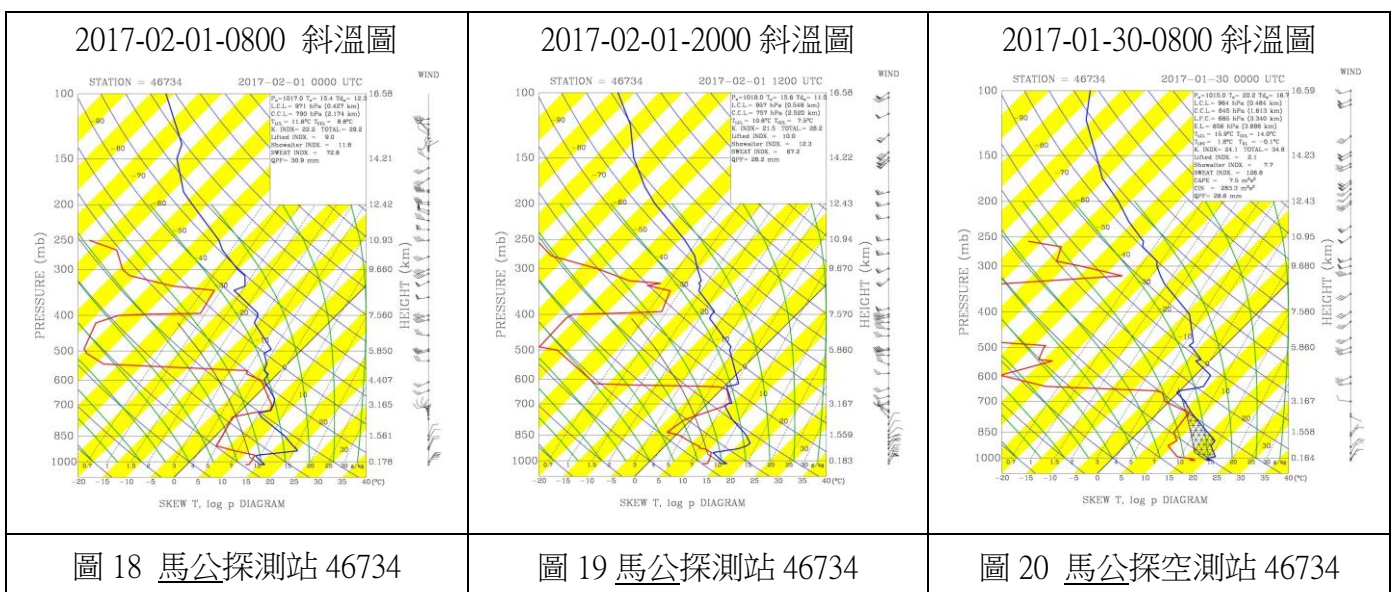


表 1 ACS 極大值-穩定層與濕度之分析

日期	馬公測站 (46734)	花蓮測站 (46669)	台北測站 (46692)
2017 年 01-21-0800	約 3600m(-2~5°C)(薄), 底 3500m。 2400~3500m 濕度高; 2400m 和 3500m 二處均達飽和	約 3800m(-2~4°C)(薄), 底 3800m。 3800 達飽和;1600m~2300m 均達飽和; 2300m~3800m 濕度中上	約 3800m(-2~5°C)(薄), 底 3800m。 2900m~3800m 濕度高; 2900m 和 3800m 二處均達飽和
2017-01-24 0800/1100	約 3300~4400m 有一連續穩定層(逆+強穩)。2100~3300m 中上。 這一天早上的雲比較薄	約 3800m(-5~2°C)(薄), 底 3800m。 1100~2700m 均達飽和; 2700m~3800m 濕度高。	約 4000m(-9~-2°C)(薄), 底 3900m。 1500~2200m 濕度高;2200m~3900m 濕度中上
2017-01-24 1400/1700	約 3600m(-3~3°C)(薄), 底 3600m。 2300~3600m 濕度中上。	約 3900~5900m 有一連續穩定層(逆+強穩)。1500~3900m 大多飽和。	約 3900m(-7~-2°C)(薄), 底 3900m。 2900~3900m 有一半達飽和。
2017-01-31 1400/1700	約 3100m(5~6°C)(中), 底 2700m。 約 4000~4400m 有一強穩定層 2700~4000m 均達飽和。	約 2600m(6~7°C)(中), 底 2300m。 約 4300m(0~2°C)(中), 底 4200m。 2300~3200m 濕度高; 3200~4300m 均達飽和。	約 2700~3800m 有一連續穩定層(逆+強穩)。約 4200m(-2~1°C)(中), 底 4000m。 2700~3800m 濕度高。 2700~3200m 均達飽和。
2017-02-01 0800/1100 (圖 18)	約 2700~3400m 有一連續穩定層(逆+強穩)。約 4400~5900m 有一連續穩定層(強穩+逆)。2700~4400m 濕度高; 2700~3100m 均達飽和。	約 2300~3400m 有一強穩定層。 4400~6200m 有一連續穩定層(穩+逆+穩+逆)。1700~4400m 濕度高; 2700m 和 4400m 二處均達飽和。	約 2500~4800m 有一連續穩定層(穩+逆+穩)。約 4700~7300m 有一連續穩定層(逆+穩)。3100~4700m 濕度高。3300m 處達飽和。
2017-02-01 1400/1700	約 3100m 有一小逆溫, 底 3000m。 約 4100m(1~3°C)(薄), 底 4000m。 3000~3900m 均達飽和。	約 1500~3300m 有一強穩定層。 約 4300~5900m 有一連續穩定層(逆+強穩)。1500~4300m 均達飽和。	約 2100m(5~7°C)(中), 底 1800m。 約 4300m(-3~2°C)(薄), 底 4200m。 3700~4200m 濕度高。
2017-03-07 1400/1700	約 3800~5100m 有一連續穩定層(逆+穩+逆+強穩)。2800~3800m 濕度高。	約 2300m(3~6°C)(薄), 底 2200m。 約 4800~5200m 有連續穩定層(強穩+逆)。4800m 以下均達飽和。	約 2100~4300m 有一強穩定層 約 4800~5100m 有一強穩定層 約 1300~4300m 接近飽和; 4300~4800m 濕度高。
2017-03-09 1400/1700	約 4700~5800m 有一強穩定層 3100~4700m 均達飽和	約 4800~5700m 有一連續穩定層(逆+強穩+逆)。2900~4800m 均達飽和。	約 3100~5100m 有一強穩定層 5200~6000m 有一連續穩定層(逆+穩+逆)。1500~5100m 均達飽和
2017-03-10 0800/1100	約 2300m(7~9°C)(中), 底 2300m。 約 5700m(-10~-7°C)(薄), 底 5600m。 4600~5600m 濕度高。	約 5700m(-10~-9°C)(中), 底 5500m。 1500~5000m 濕度高; 5500m 達飽和。	約 6100~6800m 有一強穩定層; 約 1500~3800m 有一強穩定層。 約 5100~6100m 有一半達飽和。
2017-03-16 1400/1700	約 2500~3700m 有一強穩定層。約 4600~5200m 有一連續穩定層(穩+逆+穩)。3600~4600m 濕度中上。	約 2200m(8~9°C)(中), 底 1900m。 約 3900~5800m 有一強穩定層 2900~3900m 濕度高。	約 2200~3100m 有一強穩定層 約 3100~5800m 為一般穩定層 約 2200~5200m 大多達飽和。
2017-03-31 1400/1700	約 4000~4600m 有一強穩定層 3000~4000m 濕度中上;4000m 處接近飽和。	約 2000m(10~12°C)(薄), 底 1800m 約 4800~5800m 有一強穩定層 3800~4800m 濕度高。	約 1900~2400m 有一逆溫層 約 2400~5800m 有一連續穩定層(逆+穩)。1500~5800m 大多飽和
2017-04-23 1400/1700	約 5500~6000m 有一強穩定層。 約 1500~5500m 濕度高	約 5200~6200m 有一強穩定層。 1500~6000m 濕度高;6000m 以下多處達飽和	約 5100~6400m 有一連續強穩定層。 5100m 以下大多濕度高, 且多處達飽和
2021-03-03 0800/1100	約 3100~3400m 有一強穩定層 約 5300m(-10~-5°C), 底 5200m 5200m 以下濕度中上 1600m 和 5200m 二處達飽和	約 1500~3100m 有一連續穩定層(強+逆)。約 5500 m(-10~-5°C), 底 5300m 2400~5300m 濕度中上, 5300m 達飽和; 1500~2400m 均達飽和	約 3000~3800m 有一強穩定層 約 5700~6500m 有一連續穩定層(強+逆)。約 1100~3100m 大多達飽和; 4700~5700m 濕度高

註 4：關於表 1 中「穩定層」書寫方式的說明：(1).表中有標示溫度變化的是逆溫層，而穩定層或強穩定層則只會標出高度範圍，不註明溫度變化；(2).表中，早上二個觀測時間點，看斜溫圖 0000UTC 的資料，下午二個觀測時間點，看 1200UTC 的資料；(3).實例說明：以 2017-1-21 為例，「約 3600m(-2~5°C)(薄), 底 3500m」，表示約在 3600m 處有一不怎麼厚的逆溫層，從-2°C 逆溫到 5°C，且此逆溫層的最低處位於 3500m 處。

註 5：在濕度的分析方面，我們是取「穩定層下方 1000m 的平均濕度」，因為這範圍通常是 ACS 所在之處。

註 6：在圖 21 中，因為 2017-3-16 和 2017-3-31 這二天的穩定層雖然厚度很厚，但是它是一個較弱的穩定層，所以我們就取其中間值，並以上下引線標示其最大值與最小值。

註 7：而在圖 21 中，我們是取穩定層的底部做成折線圖—因為穩定層底部是決定 ACS 高度的關鍵。

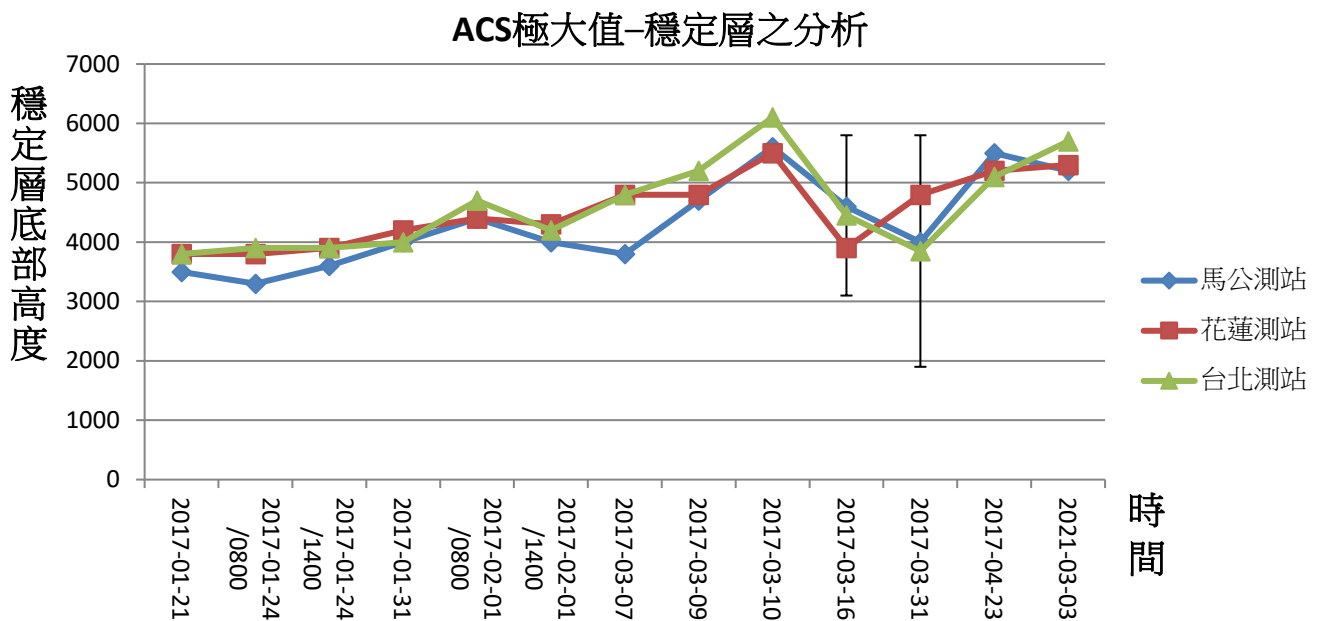


圖 21 ACS 極大值-穩定層之分析

接著，我們就來分析「ACS 要產生極大值，有何條件？」根據表 1 和圖 21 的分析，我們得到以下二個結論：

1. 當極大值 ACS 發生時，幾乎都會伴隨著「三合」的現象

這裡所謂的「三合」，是指「馬公-花蓮-台北」三個測站所測得的穩定層底部幾乎位於同一個高度(差距在 1000 公尺以內)的情況。就 13 筆資料中，差距在 600 公尺以內的佔了 10 筆，其餘三筆分別是 700m、800m 和 1000m。

〔深入探討 1〕 2017-3-16 和 2017-3-31 這二天看起來應該是「二合」而不是「三合」吧？

答：(1).2017-3-16 這一天：參考表 1，我們會發現這一天各測站在 2000m 和 4000m 左右都有穩定層。就 2000m 左右而言，三個測站的高度都符合「三合」的條件，但是就 4000m 左右而言，看起來只有「二合」。我們就針對這個「二合」來解釋一下：當時馬公和花蓮的穩定層底部分別是 4600m 和 3900m，而台北測站在 3100~5800m 有一個弱穩定層，我們若取 3100~5800m 的中間值 4450m，那就達到「三合」了。為什麼要取中間值呢？因為這是一個較弱的穩定層，根據我們的判斷，3100m 這底部的遮擋效果應該不夠強大到讓層狀高積雲能在此高度形成，所以我們取中間值。(2).2017-3-31 這一天：穩定層的分布狀況和 2017-3-16 類似—馬公 4000m，花蓮 4800m，形成「二合」，台北在 2400~5800m 有一連續穩定層。我們若取 2400~5800m 的中間值 4100m，也達到了「三合」。

2. 當極大值 ACS 發生時，「馬公-花蓮-台北」三地穩定層下方(1000m 內)的濕度大多非常高

我們將 ACS 出現極大值時的那幾天的濕度做了一個分析，如下圖 22 所示。我們發現當天三個測站中，其中有二個測站達「濕度高」以上(含飽和)的佔 85%(13 筆資料中有 11 筆)，可見得極大值 ACS 發生時，大氣濕度都非常高，至於另外二筆(2017-1-24-0800 和 2021-3-3)雖然沒有達到這個標準，平均濕度也都不低—就因為 2017-1-24 和 2021-3-3 這二天平均濕度沒那麼高，所以當天出現的 ACS 雲層比較薄(參考附錄-表 1)。

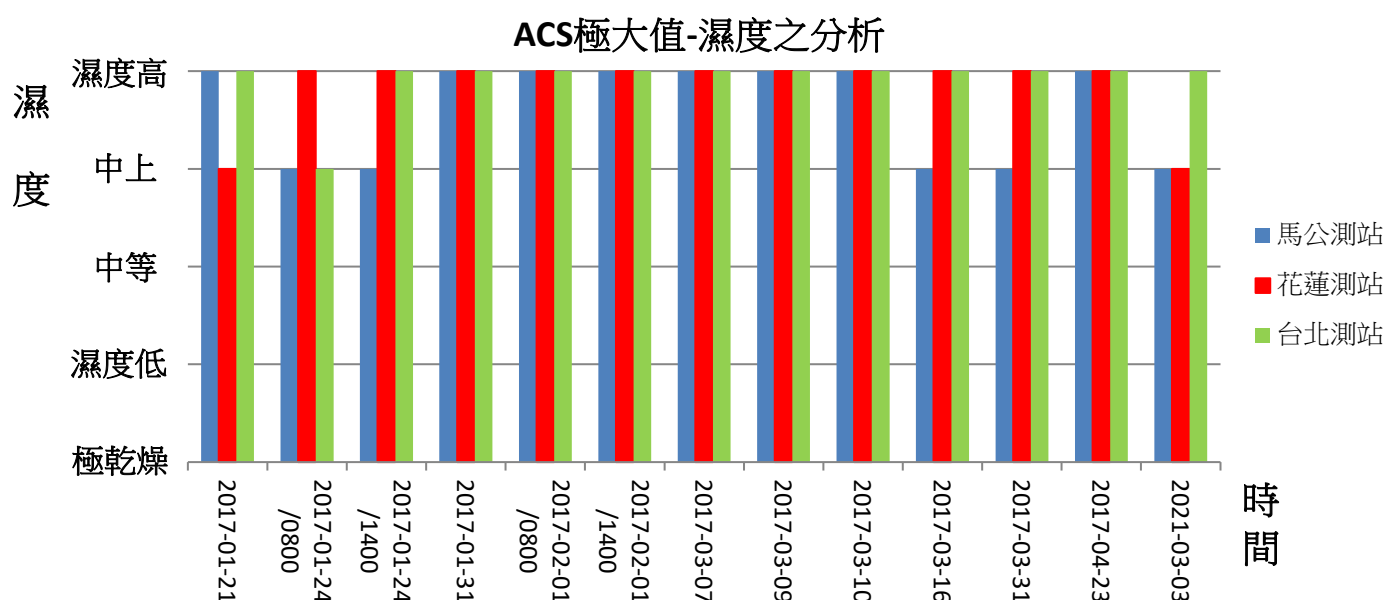


圖 22 ACS 極大值-濕度之分析

(二).若 ACS 產生下限值(下限雲量+維持時間短)，是何原因？

什麼是「ACS 的下限值」呢？我們的界定如下：「 $4 \leq \text{ACS 雲量} < 6$ ，且此雲量維持時間短 (<3 小時)」(若在連續二個觀測時間點之內，ACS 的雲量都介於 4 和 6 之間，且雲層很薄，亦劃歸為下限值)。為什麼要做「ACS 下限值」的分析呢？(1).我們想了解當雲況處於 ACS 下限-臨界狀況時，會伴隨什麼樣的大氣現象；(2).其次，因為我們最後要做「在各種不同雲量下，大氣穩定層的分布狀況」的分析，而此 ACS 下限值的雲量在 4~6 之間，是不可或缺的一部分。

若 ACS 產生「下限值」，是何原因？在有出現 ACS 的 173 筆資料中，符合下限值條件的有 13 筆。為什麼這麼少？因為我們希望愈單純愈好，所以即便 ACS 雲量符合我們的條件，若摻雜太多其他雲類(可能對我們的分析造成干擾)，則不予採用。分析這些資料，我們得到以下二個結論：

1.當下限值 ACS 發生時，通常會伴隨「二合」或「三合」的現象

由表 2 和圖 23 的分析得知：在 13 筆資料中，「三合」的佔 7 筆，「二合」的佔 3 筆，「均

不合」(指「馬公-花蓮-台北」兩兩之間的穩定層底部差距都在 1000 公尺以上)的佔 3 筆。可見得當下限值 ACS 發生時，雖然和極大值 ACS 發生時一樣，以「三合」為主，但是「二合」和「均不合」的比例也不低。也許有人會質疑說，既然都是「三合」，為什麼一個是「極大值」，另一個卻是「下限值」呢？這就牽涉到濕度，底下會再討論。

表 2 ACS 下限值-穩定層與濕度之分析

日期	馬公測站 (46734)	花蓮測站 (46669)	台北測站 (46692)
2013-01-21 /1800	3200m 左右(2~7°C)(中)，底 3100m 3100m 為最濕點，其下濕度低	約 3100~4300m 有一連續穩定層(逆 溫+強穩)。3100m 濕度中等。	約 3200~3800m(逆溫+強穩)。 3200m 達飽和，其下濕度低。
2013-06-21 /0900	約 4000~4400m 有一強穩定層(不 厚)。4000m 以下濕度低。	約 2400~3100m 有一強穩定層。 2400m 以下濕度中上	2000~6000m 無明顯穩定層。3000m 以下濕度中等；3000~6000m 濕度 低
2013-11-05 /0900	約 4800~5400m 有一強穩定層。 3200~4800m 濕度中等	約 3000m(7~8°C)(薄)，底 2800m 1500~2800m 濕度中上	2000~6000m 之間無明顯穩定層 3200~6000m 濕度中上
2013-11-14 /0900	約 2700m(-3~-2°C)(薄)，底 2500m 約 5000m(-3~-2°C)(薄) 4800m 以下濕度低	約 2600m(6~10°C)(薄)，底 2600m 約 4800m 左右(-3~-2°C)(薄) 2600~4600m 濕度低；2600m 以下濕 度高	約 2900m(6~8°C)(薄)，底 2800m 約 5000m(-4~-2°C)(薄) 2800~4500m 濕度低；1800~2800m 以下濕度中上
2013-12-07 /0900	約 3300m(0~4°C)(薄)，底 3100m 3100~6000m 大氣十分乾燥 2100~3100m 濕度中等	約 4000m(-3~-1°C)(中)，底 3600m 3800~6000m 大氣十分乾燥 1500~3800 濕度中上	約 3800m(-3~-2°C)(薄)，底 3700m 3800~7200m 大氣十分乾燥 1500~3800m 濕度中等
2013-12-14 /0900	2000~6000m 之間無明顯穩定層 2200~4100m 濕度中等	約 4100~5700m 有一連續穩定層(逆 +穩)。1500~4100m 濕度高。	約 3200~5000m 有一略強穩定層 5000m 以下濕度高
2014-01-06 /1500	3100~4000m 有一強穩定層。 2500m 以下濕度低；2500~2700m 略 濕；3100~4400m 十分乾燥	約 2500~5000m 有一厚逆溫層 1700~2800m 濕度高；1700m 以下濕 度低。	約 3100~4400m 有一連續穩定層(逆 +強穩)。2300~3100m 濕度中上； 2000m 以下濕度低。
2014-02-26 /0900	約 5000m (-8~-6°C)(薄) 5000m 以下濕度低。	約 2300~2700m 有一逆溫層 2300m 以下濕度中等。	約 2300m 有一小逆溫(5~7°C)(薄) 2300m 以下濕度低。
2016-12-20 /0800	約 4500m (-3~-0°C)(薄) 4800m 以下濕度濕度低	約 4700m(-5~-2°C)(薄)。4500m 接近 飽和；2000~4500m 濕度低	約 4600~5100m (-6~-2°C)(中) 3600~4600m 濕度低
2016-12-23 /1700	約 4000~5800m 有一連續穩定層 (逆+強穩) 4000m 以下大氣濕度濕度低	約 2300~3300m 有一連續穩定層(逆 +穩+強穩)。1500~2500m 濕度高， 2500m 以上大氣十分乾燥	約 3600~4600m 有一連續穩定層 (逆+穩) 2300m 以上大氣十分乾燥
2017-01-22 /1100	約 3200~3900m 逆(-3~3°C) 3200m 以下濕度低	約 3900m(-5~1°C)(薄)，底 3800m。 1700m~3800m 濕度中等；3800m 飽 和，3800m 以上十分乾燥	約 3900~5300m 有一連續穩定層(逆 +強穩)。2900~3900m 濕度低；3200m 以上十分乾燥
2017-03-02 /0800	約 2300~3000m 有一強穩定層 1300m 以上十分乾燥	約 2300~3000 有一連續逆溫層(0~2 °C)。1700~2300m 均達飽和；2300m 以上十分乾燥	約 2700~4400m 有一連續穩定層(逆 +穩+逆+強穩)。1900~2700m 濕度 低
2017-04-19 /1100	約 5300~6400m 有一連續穩定層(逆 +強穩)。4300~5300m 濕度低	約 2400~2700m 有一逆溫層 2500m 以下濕度高	約 3800~4000m 有一逆溫層。 2800~3800m 濕度中上

〔深入探討 2〕在「均不合」的情況下，為什麼還可以形成 ACS？其雲況分布如何？

答：只要埔里上空有穩定層就有機會形成 ACS，至於雲量大小則要看濕度。2013-6-21、2013-11-5 和 2017-4-19 這三天的穩定層是「均不合」，其穩定層和大氣濕度狀況如表 3 所示。根據表 3，

並參考當天的觀雲日誌和衛星雲圖，得知：(1).2013-6-21 和 2017-4-19 這二天雖然埔里上空有穩定層，但是大氣濕度低，所以雲很薄，量也不多，大部分觀察到的雲都集中在靠近花蓮的那一邊天空(從觀測點大約可以觀察到周圍 40km 以內的雲況)；(2).2013-11-5 這一天，因為埔里上空的水氣量中等，加上花蓮上空濕度也不低，所以 ACS 的雲層就比較厚。

表 3 2013-06-21 等三天-穩定層與濕度之分析

	穩定層底部高度	大氣濕度高低
2013-06-21	馬公 4000m、 <u>花蓮</u> 2400m、 <u>台北</u> 無穩定層	馬公濕度低、 <u>花蓮</u> 中上、 <u>台北</u> 濕度低
2013-11-05	馬公 4800m、 <u>花蓮</u> 2800m、 <u>台北</u> 無穩定層	馬公中等、 <u>花蓮</u> 中上、 <u>台北</u> 中上
2017-04-19	馬公 5300m、 <u>花蓮</u> 2400m、 <u>台北</u> 3800m	馬公濕度低、 <u>花蓮</u> 濕度高、 <u>台北</u> 中上

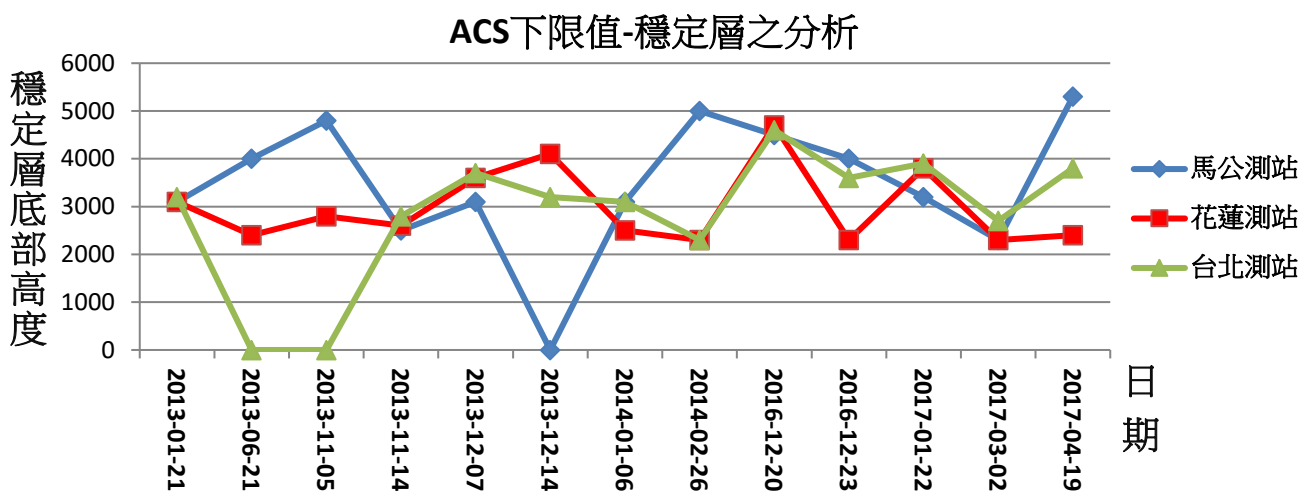


圖 23 ACS 下限值-穩定層之分析

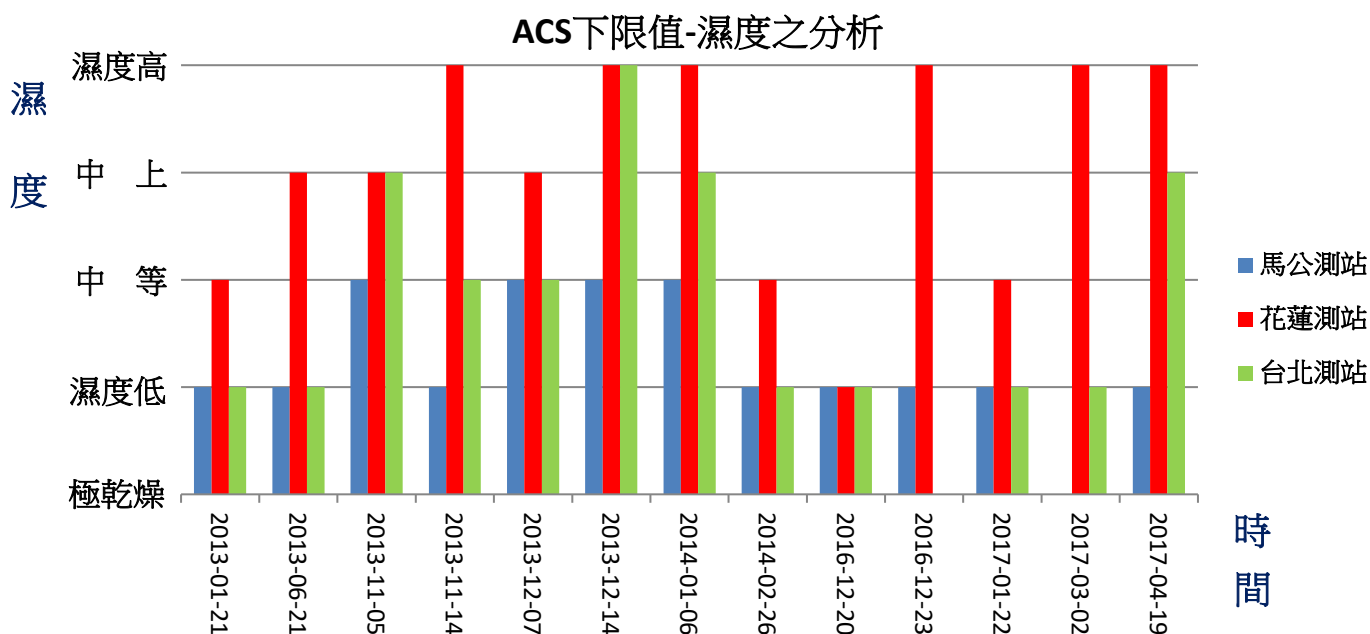


圖 24 ACS 下限值-濕度之分析

2.當下限值 ACS 發生時，埔里上方的大氣濕度普遍偏低

參考表 2 和圖 24，在 13 筆資料中，馬公測站濕度低(含十分乾燥)的有 9 筆，濕度中等的有 4 筆，這說明了當下限值 ACS 發生時，埔里上方的大氣濕度普遍偏低。至於說花蓮和台北的濕度，整體而言雖然比起 ACS 極大值出現時小一些，但是並沒有像馬公下降得這麼明顯。為什麼會這樣？請看底下的深入探討。

〔深入探討 3〕2013-12-14、2014-1-6 和 2017-4-19 這三天整體濕度都不低，為何 ACS 仍只出現下限值？

答：關於 2017-4-19 這一天的狀況，已經分析過，今不再贅述。我們把 2013-12-14 和 2014-1-6 這二天的穩定層和濕度作個歸納，如表 4 所示。2013-12-14 這一天：雖然整體的濕度不低，可是最關鍵的馬公卻「無明顯穩定層」。早上埔里正上方雲量並不多，高積雲大多分布在較遠處的東方和東北方天空(詳細情形請參考-P.15(四))。至於說 2014-1-6 這一天：①整體的濕度本來就尚未達到 ACS 極大值的標準(更何況這一天馬公的濕度並不高)；②由斜溫圖可以看出，花蓮的濕度高是一種「假性」的濕度高(台北的濕度中上也是如此)一意即它們的濕度高只侷限在逆溫層下方的 1000 公尺內，逆溫層上方和低層的大氣都十分乾燥，這種濕度維持不久；儘管當天穩定層的狀況是「三合」，高積雲雲量也從一開始觀測到的 4.3，馬上降為 0.6。

小結語：(1).穩定層決定 ACS 的層狀結構；(2).大氣濕度決定 ACS 的雲量。

表 4 2013-12-14 和 2014-1-6 這二天-穩定層與濕度之分析

	穩定層底部高度	大氣濕度高低
2013-12-14	<u>馬公</u> 無穩定層、 <u>花蓮</u> 4100m、 <u>台北</u> 3200m	<u>馬公</u> 中等、 <u>花蓮</u> 濕度高、 <u>台北</u> 濕度高
2014-01-06	<u>馬公</u> 3100m、 <u>花蓮</u> 2500m、 <u>台北</u> 3100	<u>馬公</u> 中等、 <u>花蓮</u> 濕度高、 <u>台北</u> 中上

(三).若無 ACS，則那一天大氣中是否就沒有存在穩定層？

為什麼要做這個研究？我們只是想確定穩定層的存在是常態性的，還是只出現在某些特定的天氣狀況。因為前面已探討過在總雲量極多(ACS 極大值)和總雲量中等(ACS 下限值)的情況下，穩定層分布的狀況，接著就是我們最後的一塊拼圖—探討在雲量少(<4)的情況下的穩定層狀況。圖 25 和表 5 就是我們所呈現的分析結果(為了單純，我們只探討當天早上的雲況)。

從圖 25 得知：(1).在 14 筆資料中，「馬公-花蓮-台北」三地穩定層達到「三合」的有 8 筆，達到「二合」的有 5 筆，「均不合」的 1 筆，表示穩定層仍然大多以大範圍的方式存在；(2).

即使在雲量很少(甚至無雲)的情況下，穩定層仍然普遍存在。

綜合以上(一)、(二)、(三)的分析，我們確定了「**穩定層是經常性的、大範圍的分布**」。

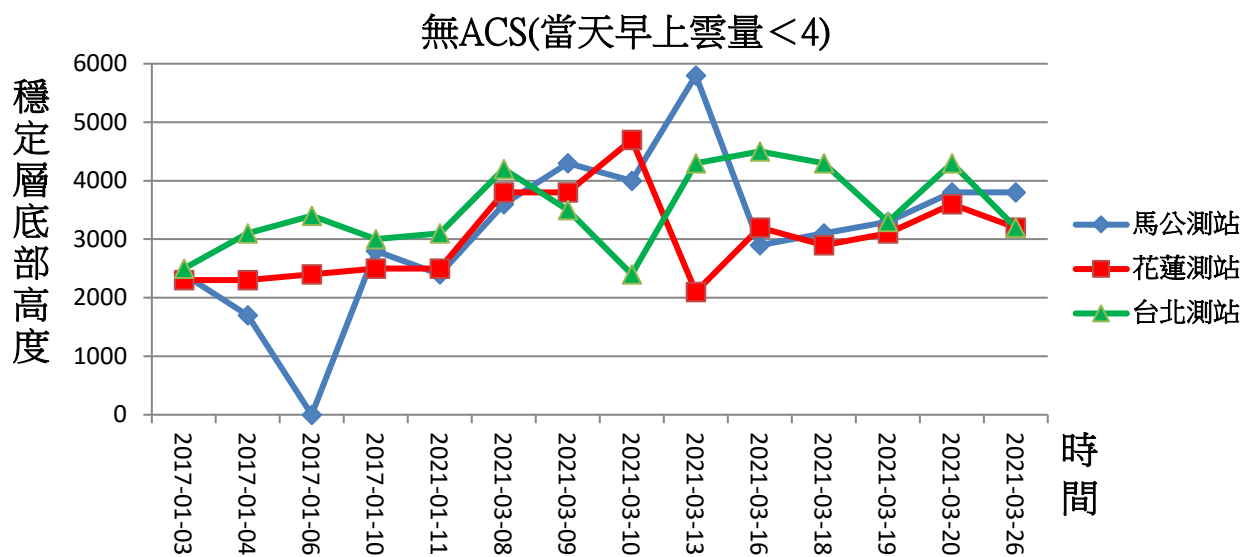


圖 25 當天早上無 ACS(總雲量<4)-穩定層之分析

表 5 當天早上無 ACS(總雲量<4)-濕度之分析

	馬公	花蓮	台北		馬公	花蓮	台北		馬公	花蓮	台北
2017-01-03	×	×	▼	2021-03-08	▼	▼	×	2021-03-18	×	×	×
2017-01-04	×	×	×	2021-03-09	×	×	○	2021-03-19	▼	▼	▼
2017-01-06	×	×	×	2021-03-10	△	▼	○	2021-03-20	▼	▼	▼
2017-01-10	▼	★	△	2021-03-13	×	△	▼	2021-03-26	×	×	×
2017-01-11	▼	○	▼	2021-03-16	×	×	×				

註 8：打 X 表示十分乾燥，打 ▼ 表示濕度低，打 △ 表示濕度中等，打 ○ 表示濕度中上，打 ★ 表示濕度高

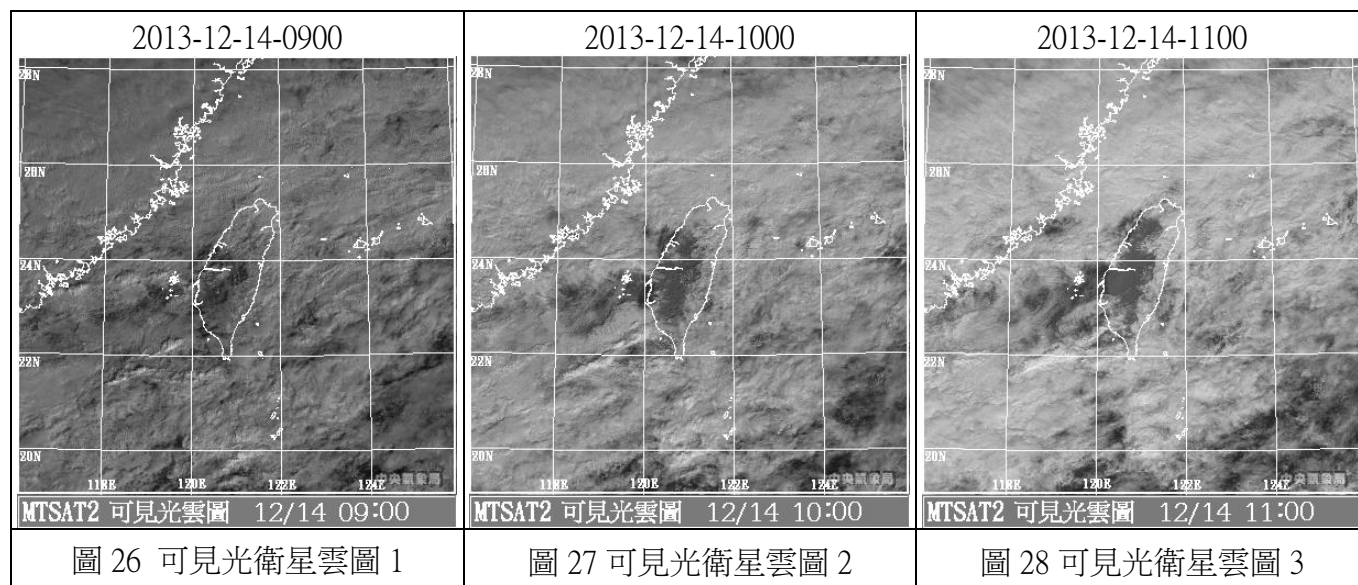
(四).穩定層或濕度對 ACS 的形成各有何影響？

1.穩定層對 ACS 的影響

(1).穩定層決定 ACS 的層狀結構：我們再舉 2013-12-14 為例，做個較深入的說明：這一天的穩定層是個「二合」的情況(表4)，馬公濕度中等，花蓮和台北濕度高。若由這一天的衛星雲圖(圖 26~圖 28)來看，0900 時埔里上空還有些許 ACS，接著雲量不斷遞減，到了 1100 時，埔里上空已幾乎沒有高積雲。為什麼會這樣？**因為埔里上空沒有明顯的穩定層！**(註 9)而花蓮和台北那邊水氣夠多，且上方有強穩定層，所以在 0900~1100 期間，ACS 大多集中在東部和東北部海面上方。**這就說明了穩定層對 ACS 層狀結構的重要性。**

註 9：為什麼不是「濕度」決定 2013-12-14 的雲況變化？我們以 2014-2-26 來作比較並說明：這一天同樣是「二合」(不過埔里上方有穩定層)，埔里濕度更低(圖 24)；在 0900 時的 ACS 雲量略少於 2013-12-14-0900，不過

3 小時之後埔里上空仍維持很多雲量(其中 ACS 雲量 3.8)。可見得 2013-12-14 當天是穩定層決定雲況變化。



(2).穩定層底部高度愈一致，其穩定性愈高

首先，我們來比較「二合」和「三合」：「二合」和「三合」倒底是誰的穩定性比較好呢？

我們舉個實例來說明：以 2014-2-26 和 2017-1-22 為例(參考表 6 和表 7)：這二天在大氣濕度高低方面，不管是馬公、花蓮或台北都一模一樣，唯一差別的是前者是「二合」，後者是「三合」。結果在雲況表現方面，2014-2-26 這一天早上由原本的 ACS4.3，降到了高積雲 3.8(已不能列入 ACS)，而 2017-1-22 這一天的雲況，不減反增，ACS 雲量由 5.0 增加到 5.9。由此可見穩定層底部「三合」比「二合」更為穩固。

其次，我們來比較「三合」與「均不合」：我們特意選「三合+濕度低」和「均不合+濕度偏高」的組合來 PK 看看：以 2013-11-5 和 2016-12-20 為例(參考表 6 和表 7)：2013-11-5 這一天雖然大氣濕度不低，可是穩定層是「均不合」(表示穩定層不太穩固)，導致雲況由蔽光 ACS5.9 快速轉變成濃積雲 4.4(其他雲類)——可見得光是濕度高，仍無法維持住 ACS；而 2016-12-20 這一天，雖然大氣濕度都非常低，但是因為它的穩定層是「三合」(表示穩定層很穩固)，所以雲況由 ACS5，緩慢遞減至高積雲 3(此時高積雲的層狀結構仍然存在)——可見得在一個強大穩定層的支持下，即使濕度低(但也不能太低)，「高積雲」這個型態也能夠維持下來。

小結語：「馬公-花蓮-台北」三地穩定層底部高度愈一致，則穩定層結構愈穩固；穩定層結構愈穩固則「高積雲」的層狀結構就愈能夠維持下來(當然就比較不容易轉成其他雲類)。

表 6 2014-2-26 等四天-穩定層與濕度之分析

	穩定層底部高度	大氣濕度高低
2014-02-26	馬公 5000m、花蓮 2300m、台北 2300m	馬公濕度低、花蓮中等、台北濕度低
2017-01-22	馬公 3200m、花蓮 3800m、台北 3900m	馬公濕度低、花蓮中等、台北濕度低
2013-11-05	馬公 4800m、花蓮 2800m、台北無穩定層	馬公中等、花蓮中上、台北中上
2016-12-20	馬公 4500m、花蓮 4700m、台北 4600m	馬公濕度低、花蓮濕度低、台北濕度低

表 7 2014-2-26 等五天 - 當天的雲系變化

	雲系變化
2014-02-26	以漏光 ACS 為主 4.3→以漏光高積雲為主 3.8→以漏光高積雲為主 3.3→以漏光高積雲為主 1.1
2017-01-22	以絮狀 ACS 為主 5→以透光、絮狀 ACS 為主 5.9→以高積雲為主 2→以高積雲為主 1
2013-11-05	以蔽光 ACS 為主 5.9→以濃積雲為主 4.4→以高積雲為主 1.6→以藍灰色雲層為主 5.7
2016-12-20	以絮狀 ACS 為主 5→以絮狀高積雲為主 3→以絮狀高積雲為主 1→以高積雲為主 1
2013-12-14	以漏光 ACS 為主 4.9→以 ACS 為主 3→以高層雲為主 6.7→□(表示沒觀測到)

2.大氣濕度對 ACS 的影響

綜合以上對 ACS 極大值、下限值和無 ACS 的討論，我們得知：同樣是「三合」，因為濕度高，所以 ACS 出現了極大值；同樣是「三合」，因為濕度中等，所以 ACS 出現了下限值；同樣是三合，因為濕度低，所以當天的雲量非常少。另外，再經由〔深入探討 2〕和〔深入探討 3〕的探討，我們更確定「在有穩定層的情況下，ACS 的雲量多寡由大氣濕度決定」。

二、由雲系變化來探討層狀高積雲的形成方式

為什麼要研究這個主題呢？因為除了穩定層和濕度之外，我們想知道還有其他什麼因素會影響高積雲的形成。根據文獻資料得知，大氣的波動和風切對高積雲的影響也是很重，但這不是我們這次科展研究的主題，留待下次再來探討。日本氣象學者荒木健太郎認為：「高積雲在晴天時會自己形成，但也會因卷積雲變厚轉化而成，或是因層積雲往垂直方向分離轉化而成。此外，有時也會從高層雲或兩層雲轉化而成，或是因發達的積雲或積雨雲往水平方向蔓延而形成。」(吳怡文譯，2020)底下我們試著從雲系變化的角度，來探討層狀高積雲的形成機制。

關於當天有出現 ACS 的雲系變化，我們目前手邊總共有 173 筆資料，扣掉其中因某個時間點資料缺漏而導致無法分析的 17 筆，以及 6 月份之後的 11 筆(我們大多只聚焦於 9 月~隔年 5 月)，可以分析的有效資料共 145 筆。底下我們依照三個面向來探討：

(一).一早就出現層狀高積雲(ACS)

所謂的「一早」是指我們一天當中第一個觀測時間點（通常是 0800）。經過我們長期的觀雲經驗，一早就出現大量高積雲，並不是一個正常的現象，應該是有其他天氣系統的介入。關於一早就出現 ACS，我們手邊有 69 筆資料，經過比較嚴謹的審訂，刪去了其中 27 筆，其餘 42 筆確定是受到外來系統的影響。這些系統大致可分作以下四種類型：

1.受到鋒面的影響

這邊所指的鋒面主要針對來自中國大陸的冷鋒或滯留鋒。之前有人做過類似的科展研究（吳念芸、李宜儀、羅翊瑄，2017），她們發現「有些類型的冷鋒在來到台灣的前三天，台灣上空會接連出現大量的層狀高積雲。」也就是說，鋒面在距離我們還相當遙遠的時候，就會影響到我們的雲系變化。不過，我們今年採取比較嚴謹的認定，當天台灣的天氣有無受到鋒面的影響，我們一律以中央氣象局發佈的消息為準——原本有 25 筆資料，最後只嚴選出 15 筆。從這 15 筆資料的分析(表 8)，得知：(1).若當天鋒面剛好來到台灣正上空，或者很接近台灣(在台灣海峽)，幾乎都會出現蔽光 ACS，只有 2017-1-30 例外！為什麼？我們查閱當天的斜溫圖(P.8-圖 20)，發現 9000m 以下的大氣大多十分乾燥，表示這次鋒面帶來的水氣量十分不足；(2).若鋒面離台灣稍遠一點(大概在福建、江西一帶)，大多以出現絮狀高積雲為主；(3).若鋒面剛通過台灣(2017-1-19 等 5 天)，那天早上所出現的 ACS 並沒有固定的形態。

表 8 一早就出現 ACS-受到鋒面的影響

日期	鋒面所在的位置	一早主要雲況	日期	鋒面所在的位置	一早主要雲況
2012-11-26	在 <u>台灣</u> 正上空	蔽光 ACS-5.8	2017-03-01	在 <u>宜蘭</u> 東方約 600 公里	透光 ACS-10.0
2013-06-12	在 <u>台灣</u> 正上空	蔽光 ACS-6.6	2017-03-06	<u>台灣</u> 東部沿海	蔽光 ACS-10.0
2014-05-12	在 <u>台灣</u> 海峽	蔽光 ACS-5.2	2017-03-10	在 <u>台灣</u> 海峽	蔽光 ACS-9.0
2016-12-21	在 <u>福建</u> - <u>江西</u> 交界	薄 ACS-5.0	2017-03-19	在 <u>基隆</u> 東北方約 400 公里	蔽光 ACS-10.0
2017-01-19	在 <u>基隆</u> 東北方約 600 公里	薄 ACS-5.0	2017-04-06	<u>福建</u> - <u>江西</u> 交界	絮狀 ACS-10.0
2017-01-30	在 <u>台灣</u> 正上空	透光 ACS-10.0	2017-04-21	<u>福建</u> 上空	絮狀 ACS-8.0
2017-02-22	在 <u>福建</u> 東部	絮狀 ACS-6.0	2017-04-25	<u>福建</u> - <u>江西</u> 交界	絮狀 ACS-10.0
2021-03-02	<u>台灣</u> 東部沿海	厚龜甲 ACS 7.0			

2.受到高壓系統移動(導致東北季風增強)的影響

這邊所指的高壓系統的移動，主要針對大陸冷高壓系統。冷高壓系統的移動往往會為台

灣帶來風向的改變—通常一開始以北風、東北風為主，隨著東移的過程，慢慢轉成偏東風。有的高壓系統離我們相當近，有些卻很遠，倒底它們的移動有無對台灣的天氣造成影響，我們仍然以中央氣象局發佈的消息為準—原本有 25 筆資料，最後只從嚴選定了 16 筆。從這 16 筆資料的分析(表 9)，得知：(1).若高壓系統的移動，導致東北風帶來較多的水氣，則當天早上大多以出現棉球狀 ACS 或波狀 ACS 為主—倒底什麼條件下會出現「棉球狀」？什麼條件下會出現「波狀」？我們目前並不清楚，留待以後再研究；(2).若高壓系統的移動，導致東北風帶來較少的水氣，則當天早上大多以出現薄 ACS 為主(透光 ACS 是一種最薄的高積雲，看起來很像龜殼的形狀，又稱作龜甲高積雲；絮狀 ACS 雲層也不厚)。

表 9 一早就出現 ACS-受到高壓系統移動的影響

日期	高壓所在的位置，移動方式(風向)	一早主要雲況	大氣水氣含量
2016-12-03	東海，向東緩慢移動(帶來東北風)	薄 ACS-5.0	濕度中等
2016-12-14	河南，向東南移動(帶來強烈東北風)	絮狀 ACS-6.0	濕度低
2016-12-17	浙江海面，向東移動(帶來東北風)	薄 ACS-9.5	十分乾燥
2016-12-30	黃海南部，向東緩慢移動(帶來東北風)	薄 ACS-9.0	濕度低
2016-12-31	黃海南部，向東緩慢移動(帶來東北風)	薄 ACS-6.0	十分乾燥
2017-01-21	浙江，向東移動(帶來強烈東北風)	波狀 ACS-10.0	濕度高
2017-01-22	安徽，向東南東移動(帶來強烈東北風)	絮狀 ACS-5.0	十分乾燥
2017-01-23	山東，向南南東移動(帶來強烈東北風)	大棉球 ACS-5.0	濕度中上
2017-01-24	黃海南部，向東南緩慢移動(帶來東北風)	波狀 ACS-10.0	濕度中上
2017-01-25	黃海，向東南東移動(帶來東北風)	波狀 ACS-10.0	濕度高
2017-01-26	東海，向東南移動(帶來東北風)	透光 ACS-5.0	十分乾燥
2017-01-31	江蘇，向東緩慢移動(帶來強烈東北風)	透光 ACS-10.0	濕度低
2017-02-02	江蘇，向東南東緩慢移動(帶來強烈東北風)	透光 ACS-10.0	十分乾燥
2017-03-02	安徽，向東南東移動(帶來強烈東北風)	透光 ACS-5.0	十分乾燥
2017-03-17	黃海南部，向東移動(帶來東北風)	透光 ACS-10.0	濕度低
2020-12-04	河南，向東移動(帶來東北風)	棉球 ACS-9.0	濕度高

3.受到颱風的影響

颱風倒底要距離台灣多近才會對我們的雲系產生影響？其實，直接從衛星雲圖就可以大致判斷得出來。不過，為了慎重起見，我們仍然以中央氣象局公佈的資料為主要依據—原本有 10 筆資料，最後只從嚴審定了 5 筆。從這 5 筆資料的分析(表 10)，得知：不論颱風距離遠近，只要其外圍環流一旦對我們造成影響，當天一早所出現的高積雲，**一律都是蔽光高積雲！**為什麼？我們推斷，應該是颱風的外圍環流通常帶來的水氣量都不低，若加上當天早上大氣

穩定層的结构很穩定，那麼出現蔽光 ACS 的機率就會很高。

表 10 一早就出現 ACS-受到颱風的影響

日期	外來系統的影響	一早主要雲況
2012-12-27	受到 悟空颱風 外圍環流的影響	蔽光 ACS-4.6
2013-01-04	受到 蘇納姆颱風 外圍環流的影響	蔽光 ACS-6.1
2020-11-06	受到 閃電颱風 外圍環流的影響	蔽光 ACS-8.0
2020-11-09	艾陶颱風 往西朝中南半島前進，中高層水氣移入台灣	蔽光 ACS-8.0
2020-11-13	受到 梵高颱風 外圍環流的影響	蔽光 ACS-10.0

4.受到華南雲雨區或南方雲系的影響

華南雲雨區東移或者南方雲系北移會對我們的天氣造成什麼影響呢？我們目前手頭上有 6 筆資料(表 11)，經過分析後得知：不管是華南雲雨區東移或者南方雲系北移，若對台灣造成影響，當天一早都會出現蔽光 ACS！為什麼？因為這二種天氣系統通常會帶來豐沛的水氣，如果這些水氣再碰到強大的穩定層，根據我們前面的分析，之所以會形成蔽光 ACS，幾乎是預料中的事。

表 11 一早就出現 ACS-受到華南雲雨區或南方雲系的影響

日期	外來系統的影響	一早主要雲況
2013-12-14	受到 華南雲雨區 東移的影響	蔽光 ACS-4.9
2016-11-29	受到 南方雲系 北移的影響	蔽光 ACS-6.0
2017-01-13	受到 華南雲雨區 東移的影響	蔽光 ACS-10.0
2020-12-07	受到 南方雲系 北移的影響	蔽光 ACS-7.0
2021-01-21	受到 南方雲系 北移的影響	蔽光 ACS-6.0
2021-03-04	受到 華南雲雨區 東移的影響	蔽光 ACS-4.0

(二).雲類轉換(其他雲類 → ACS)

荒木健太郎認為卷積雲、層積雲、高層雲、雨層雲、積雲或積雨雲都有可能轉變成高積雲。不過，我們實際上只觀察到高層雲、積雲、卷雲(荒木健太郎沒有提到)、卷積雲等四種雲類轉化成高積雲。底下依照出現頻率的高低順序分別介紹：

1.高層雲 → ACS

高層雲跟高積雲一樣都屬於中雲族，而且高層雲的形成也和高積雲一樣，和穩定層很有關係，因此，平常很少看到單純的高層雲，大多是「高層、高積混和雲」。我們以 2020-12-4 這一天的雲況為例，來說明什麼是「高層、高積混和雲」：圖 29 是我們在當天下午 3 點所拍

攝的照片，從下往上看，雲底相當平整，看不出有什麼積狀結構，是典型的高層雲；可是由高解析度的衛星雲圖來看(圖 30)(**台灣位於圖中央**)，雲頂又有許多類似高積雲的積狀結構(我們可以清楚看出**台灣被大量的高積雲團團圍住**)——這就是所謂的「高層、高積混和雲」。那麼，如此就可以斷定高層雲會轉成 ACS 嗎？其實我們也不敢百分之百確定，不過，既然高層雲和高積雲總是這麼緊密地混雜在一起，我們認為它們之間互相轉化的可能性相當高。



圖 29 2020-12-4-1500 西方天空

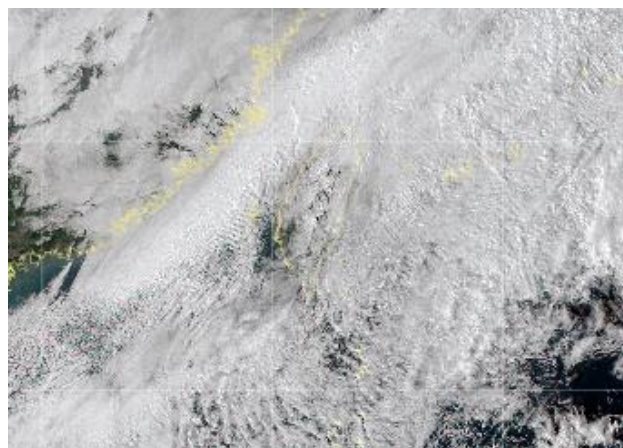


圖 30 2020-12-4-1500 真實色彩衛星雲圖

除了 2020-12-4 這一天之外，我們手邊也有 29 筆類似的案例：2012-11-20、2012-12-24、2013-1-10、2013-1-13、2013-2-1、2013-11-6、2013-12-15、2014-1-7、2016-11-29、2016-11-30、2016-12-6、2016-12-15、2016-12-22、2017-1-14、2017-3-8、2017-3-9、2017-3-14、2017-3-15、2017-4-6、2017-4-7、2017-4-20、2017-4-28、2017-6-10、2017-6-16、2020-10-22、2020-11-30、2020-12-4、2020-12-24、2020-12-29、2021-1-12。基於版面篇幅的限制，無法一一介紹。

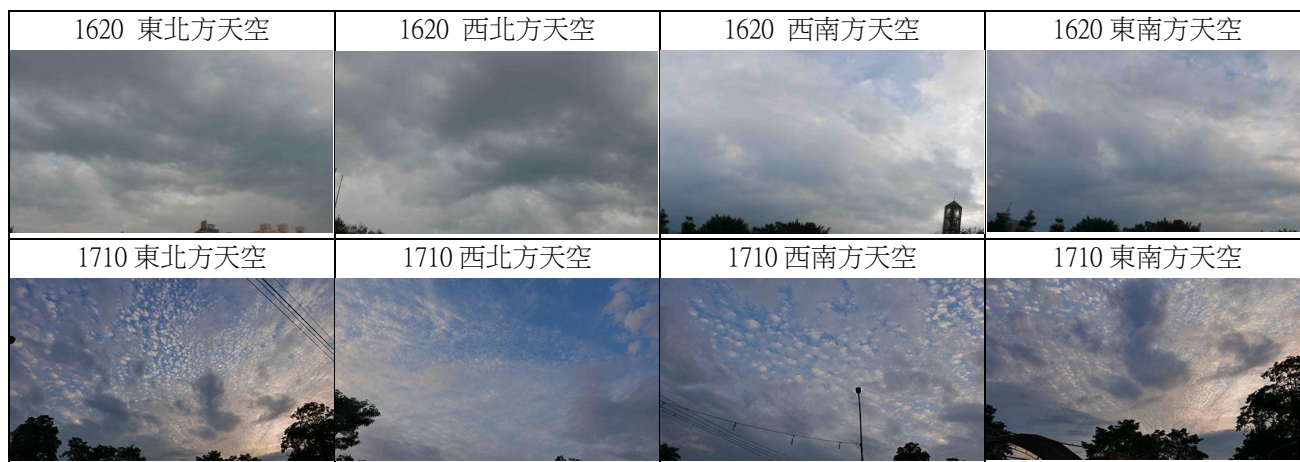
2.積雲 → ACS

積雲屬於直展雲族，雲底一般在大氣下層，雲頂可延伸到中層或上層。積雲為什麼會轉化成 ACS 呢？根據荒木健太郎的說法，**是因為發達的積雲往水平方向蔓延而形成**。我們以 2016-12-5 為例，來說明積雲如何轉成 ACS：當天濃積雲大概從 1330 時開始發展，到 1620 時，濃積雲已布滿大部分天空(圖 31-1620)(**我們從雲層破洞處看上去沒有發現任何高積雲的蹤跡**)，不過到 1710 時，濃積雲就消散掉了(圖 31-1710)——**這時我們赫然發現，濃積雲上方竟然籠罩著一大片絮狀 ACS(雲量 6 左右)**。根據我們的判斷，這些絮狀 ACS 應該是由濃積雲轉變而來的。

除了 2016-12-5 這一天之外，我們手邊也有 15 筆類似的案例：2012-12-25、2016-12-12、2016-12-23、2016-12-31、2017-3-5、2017-3-13、2017-3-20、2017-3-31、2017-4-1、2017-5-22、2017-5-23、

2020-9-30、2020-11-03、2020-11-16、2020-12-25。基於版面篇幅的限制，無法一一介紹。對以上這些雲況加以分析，我們發現：同樣是積雲，但是由濃積雲所發展出來的 ACS 雲量總是特別多！想必是「濃積雲是最發達的積雲」的緣故吧！

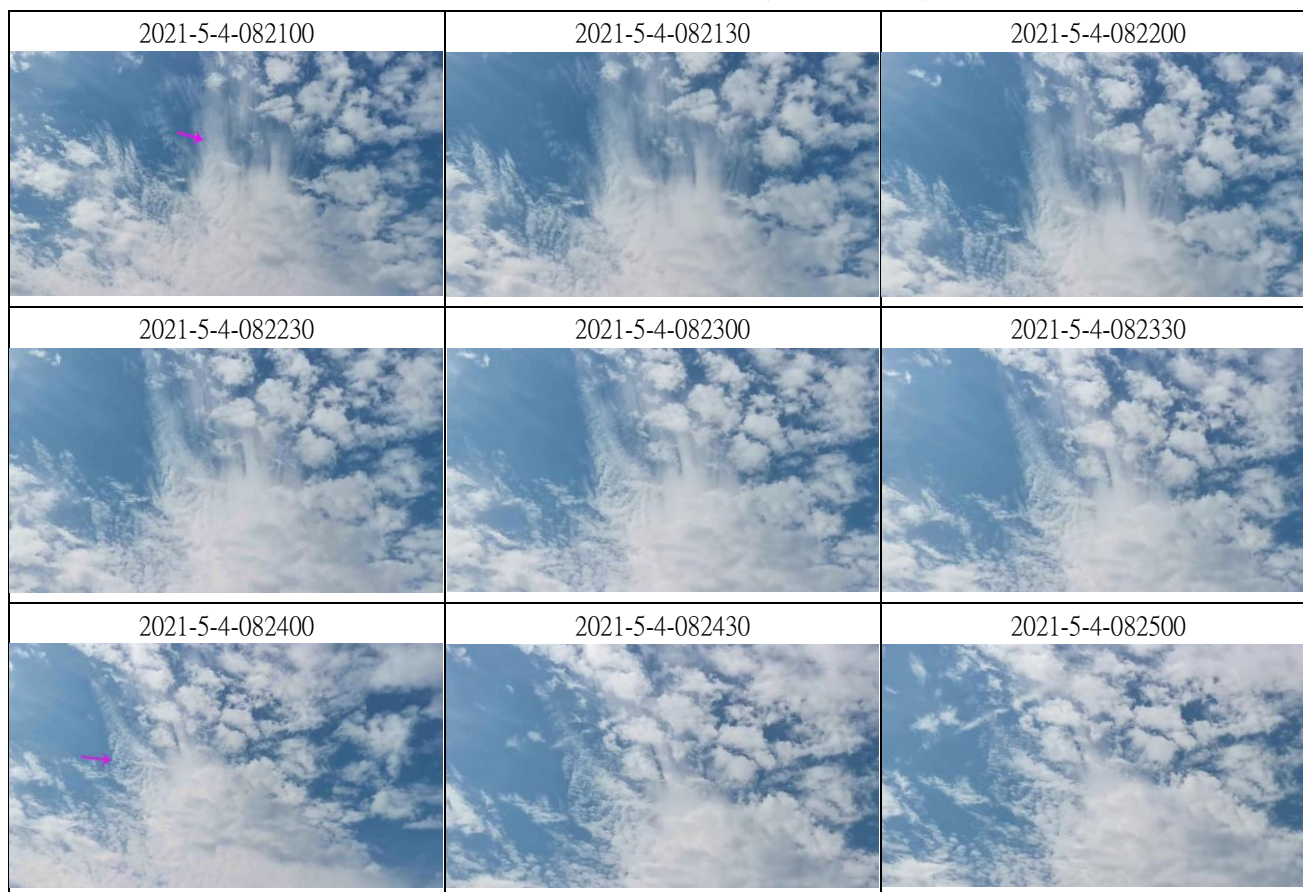
圖 31 2016-12-5 當天下午 1620 以後的雲況變化圖(濃積雲→ACS)



3.卷雲 → ACS

卷雲真的可以轉化成高積雲嗎？[荒木健太郎](#)並沒有提到，不過我們卻有幸多次目睹這精彩雲況轉換過程，底下舉二個較具代表性的例子來作說明：

圖 32 2021-5-4 關鍵 4 分鐘(卷雲→ACS)



(1).2021-5-4：因為這一天最精采，所以先介紹。我們以表格(表 12)的方式來說明：

表 12 2021-5-4 當天雲況記錄與說明(卷雲 → ACS) (參考圖 32)

觀測時間	雲況記錄與說明
0800	總雲量 9.5：蔽光 ACS3、絮狀高積雲 2、棉球狀高積雲 1，其餘灰白一片(雲底稍暗)。〔有一道鋒面目前正在福建上空，朝台灣而來〕
0821 0825	082100(8 點 21 分 0 秒)：在圖 32 中，我們把最關鍵的那道長卷雲「放在圖片的正中央」(粉紅色箭頭所指之處)。在這個時間點，這道長卷雲從下面那一坨雲中延伸出來。這道長卷雲的右邊也有一道較短的卷雲，再往右則有一片高積雲。 082200：經過 1 分鐘之後的這個時間點，那道卷雲開始出現一些積狀構造。可能是風向的關係這一道長卷雲有向左位移一些。 082300：經過 2 分鐘之後的這個時間點，那道長卷雲下方 1/3 的基部分，也開始出現一些更大的積狀雲塊。 082400：經過 3 分鐘之後的這個時間點，那道長卷雲從中間點以下，都出現了較大塊的積狀雲塊(據判斷應該是棉球狀高積雲)(粉紅色箭頭所指之處)；上半段已發展出巢狀結構(據判斷應該是網狀卷積雲)。這時，卷雲轉化成高積雲的大戲已達最巔峰。 082430：經過 3 分鐘半之後的這個時間點，位於下半段的高積雲的左半側，塊狀結構有變小一些，上半段的網狀卷積雲已消失大半。 082500：經過 4 分鐘之後的這個時間點，位於下半段的高積雲跟 082400 比起來規模已縮小一半，上半段的卷積雲已完全消失。
1100	總雲量 9.5：蔽光 ACS4，其餘灰白一片(雲底較灰暗，雲層應該有點厚度)。
1430	總雲量 9：以蔽光 ACS 為主
1700	總雲量 7：高積雲 3(棉球+絮狀)、濃積雲 3

能夠觀察到這精采的四分鐘，說真的有點僥倖，但也證明了我們觀雲的功力有所提升了！為什麼？因為那天早上 8 點例行性的觀察、記錄完成後，本來打算回教室上課，但是內心總覺得眼前這些卷雲和高積雲交織在一起的畫面十分特殊，於是決定再多等幾分鐘——果然皇天不負苦心人，讓我們獲得如此珍貴的禮物。

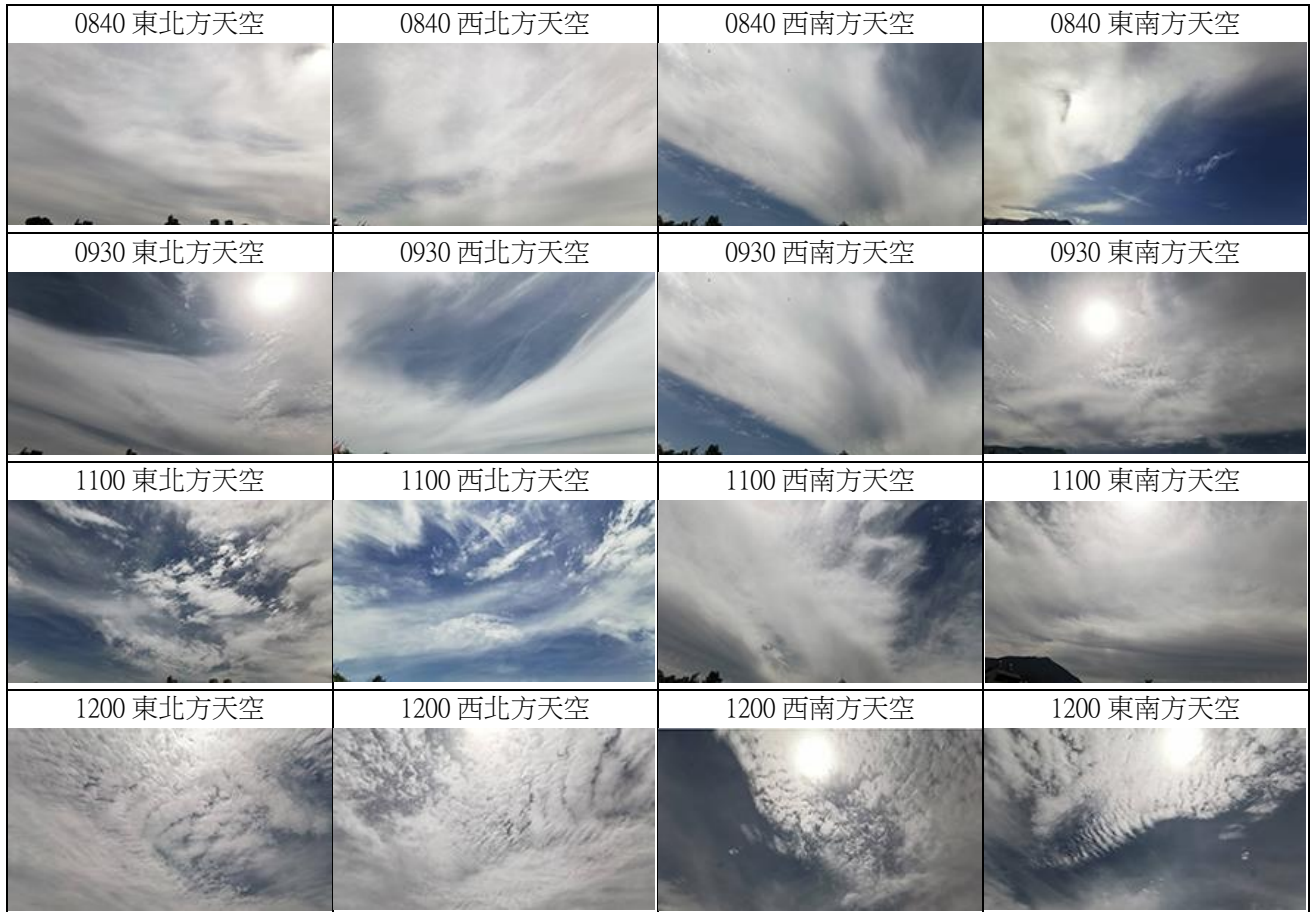
(2).2021-5-1：我們仍然以表格(表 13)的方式來說明當天的雲況及卷雲是如何轉成高積雲的：

表 13 2021-5-1 雲況記錄與說明(卷雲 → ACS)(參考圖 33)

觀測時間	雲況記錄與說明
0650	一早天空就出現許多層狀高積雲，以棉球狀和波狀為主，雲量 5。
0840	總雲量 8。卷雲和卷層混合雲 8(以卷層雲為主)。
0930	總雲量 8。卷雲和卷層混合雲 6(以卷層雲為主)，絮狀高積雲 2〔主要出現在東方、東南方及正上方天空。因版面不夠，所以沒有呈現東方和正上方的照片。現在請看東南方，0840 時此處都還是卷雲，經過 50 分鐘，我們可以清楚地看到卷雲的上方已出現一些積狀的高積雲。〕 這是今天第一次卷雲→高積雲。
1100	總雲量 8.5。卷雲和卷層混合雲 7(卷雲比例有提高，南方天空有密卷雲)，高積雲 1.5(絮狀，有些較不規則)。
1200	總雲量 8《1100 時，東北方有一些積狀雲，但是高積雲的形態還沒有出來，此時，一半以上已經都是高積雲了；1100 時，西北方是以卷雲為主，此時，也是一半以上都是高積雲了；1100 時，西南方是以密卷雲為主，現在，高積雲也大約佔了一半的面積；1100 時，東南方是以卷雲為主，積狀雲只佔一小部分，現在，高積雲也大約佔了一半的面積。》這是今天第二次卷雲→高積雲。

1300	灰白雲一片(比較看不出是什麼雲)
1400	灰白雲布滿天空〔有 2/10 左右看得出是蔽光高積雲〕
1600	總雲量 8〔絮狀 ACS3〕
1700	總雲量 7〔以絮狀和棉球狀 ACS 為主，還有少量卷雲〕

圖 33 2021-5-1 當天 0840~1200 的雲況變化圖(卷雲→ACS)



除了 2021-5-1 和 2021-5-4 這二天之外，我們手邊也有 3 筆類似的案例，基於版面篇幅的限制，只以當天主要的雲系變化方式呈現，如表 14 所示。

表 14 雲系變化(卷雲→ACS)

日期	雲系變化(0800 → 1100 → 1400 → 1700)
2016-11-25	以卷雲為主 7→以層狀漏光高積雲為主 7→以卷雲為主→雲層變厚 10
2016-12-02	以卷積雲為主→以纖維狀卷雲為主 4→以層狀高積雲為主 6.5→以層狀高積雲為主
2020-11-12	以層雲為主 3.5→以卷雲為主 3→以層狀高積雲為主 10→以層狀高積雲為主 4

4. 卷積雲 → ACS

卷積雲和高積雲有很多類似的地方，例如卷積雲有的「主要種類」和「變型」，高積雲也都有。其實，雲底較低的卷積雲和較高的高積雲通常很難區別。荒木健太郎認為卷積雲若變厚可以轉化成高積雲。事實上，卷積雲並不常出現，而且維持時間相當短暫，若要觀察到卷

積雲轉成高積雲，這機率可說是微乎其微。不過，很幸運的是，我們有目睹過二次，分別是 2016-11-26 和 2021-5-11 這二天。

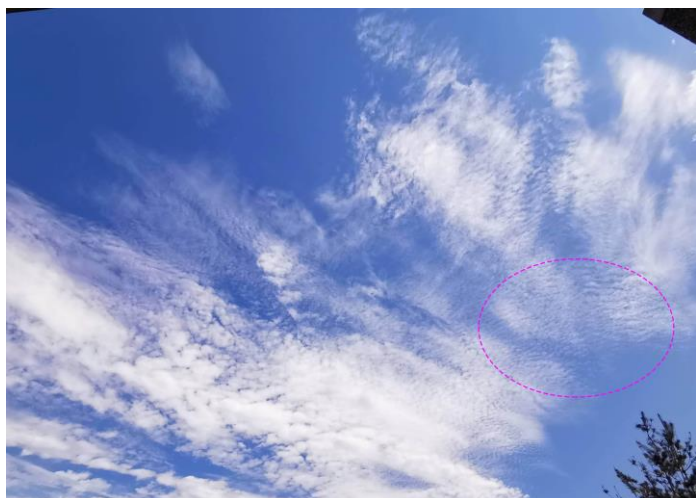


圖 34 2021-5-11-0938

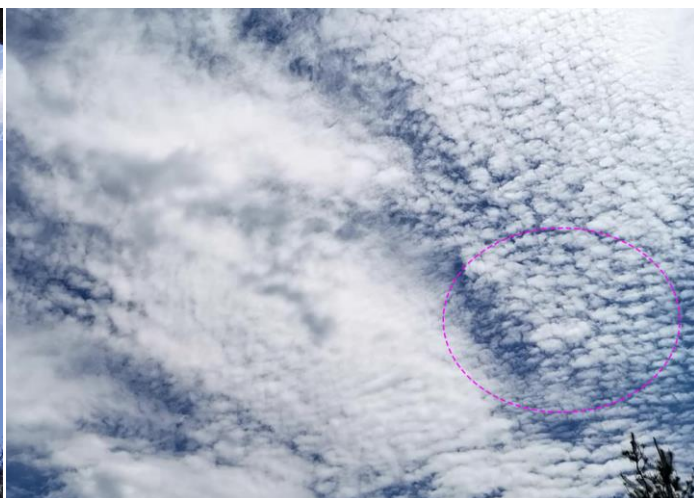


圖 35 2021-5-11-0954

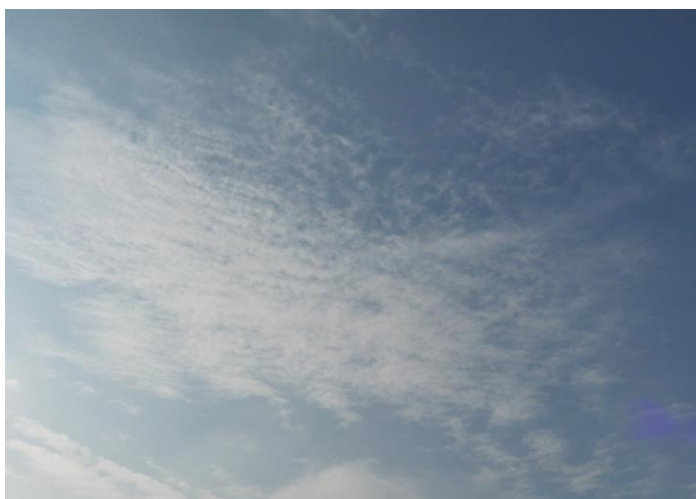


圖 36 2016-11-26-0850



圖 37 2016-11-26-0906

(1).2021-5-11：我們以表格(表 15)來說明當天的雲況及卷積雲是如何轉成高積雲的：

表 15 2021-5-11 雲況記錄與說明(卷積雲 → ACS)(參考圖 34、35)

觀測時間	雲況記錄與說明
0800	總雲量 5。以不規則的高積雲為主，卷積雲 0.5，還有一些膨鬆、零散的積狀雲。
0938 0954	圖 34:時間點是 9 點 38 分。那時我們突然看到窗外有一大片波狀卷積雲(橢圓形圈起來的部分)(因為這些雲塊旁邊還有一些卷雲，應該不會誤判)，於是我們就趕快衝去教室陽台架好相機拍照、攝影。 圖 35:時間點是 9 點 54 分。這時卷積雲和高積雲的轉換已達到顛峰(橢圓形圈起來的部分)，之後就慢慢散去了。也就是說這次的轉換前後只花了約 16 分鐘。若不是我們隨時都在注意雲況，不然怎麼有機會欣賞到這神奇的一幕呢！
1000	總雲量 7。紊亂的天空。有各式各樣的雲：高積雲 2(東方山頭有三個莢狀高積雲)，卷積雲 1，卷雲 1，形狀不規則的積狀雲 1，其他 2。〔西北方卷雲的幡很漂亮，它好像從積狀雲垂掛下來〕
1100	總雲量 5。卷雲 3，高積雲 2。

1400	總雲量 2。卷雲 2，少量積雲。〔東方山頭上方有一大塊像是巨型飛碟的夾狀高積雲，體積很大，從 1300 維持到現在，雲頂已發展得很高〕
1700	總雲量 2.5。積雲 1.5，卷雲 0.5，其他 0.5

(2).2016-11-26：我們以表格(表 16)來說明當天的雲況及卷積雲是如何轉成高積雲的：

表 16 2016-11-26 雲況記錄與說明(卷積雲 → ACS)(參考圖 36、37)

觀測時間	雲況記錄與說明
0830	總雲量 3。主中偏南出現一大片卷積雲，約占主中的 1/10。
0850 0906	0850：出現許多卷積雲(圖 36) (其中有許多網狀卷積雲)，不斷往西邊發展，且雲量愈來愈多。 0906：經過 16 分鐘之後，由圖 37 可以看出來，天空已經出現許多高積雲(以蔽光高積雲為主) → 所以這次的卷積雲轉成 ACS 也大概花了 16 分鐘。
1000	總雲量 10。以漏光 ACS 和蔽光 ACS 為主。
1250	開始下雨，雨不大。

(三).無雲 → ACS

最後，我們發現 ACS 也會在晴天時突然形成！就如同荒木健太郎所講的一樣。這是否也意味著 ACS 並不是由對流所造成的？蓋文·普瑞特-平尼認為「高積雲所在的高度通常在熱氣流(太陽加熱地表所產生的局部上升氣流)的影響範圍之上，因此熱氣流對於高積雲的形成過程並不像積雲那麼重要。」關於無雲轉成 ACS 的實例，我們舉二個精采的實例為大家解說：

(1).2016-12-13：我們以表格(表 17)來說明當天如何在晴天之下誕生高積雲：

表 17 2016-12-13 雲況記錄與說明(無雲 → ACS)(參考圖 35)

觀測時間	雲況記錄與說明
0800	雲量非常少，東南方山頭出現一些較厚的高積雲(以莢狀高積雲為主)。
0926	東南方山頭的高積雲一度化為卷積雲，不過陽光一照很快就消失了。
1100	幾乎無雲(東南方山頭的高積雲已消失大半)。
1400	總雲量 0.5，以積雲為主。〔萬里晴空〕
1517	總雲量 7。絮狀層狀高積雲 6 [ACS 誕生了]，東方天空出現一條長扁狀的高積雲(有點厚度)
1700	雲量非常少，東南方天空仍有一些條狀的高積雲。

圖 38 2016-12-13 當天的雲系變化流程圖(無雲 → ACS)

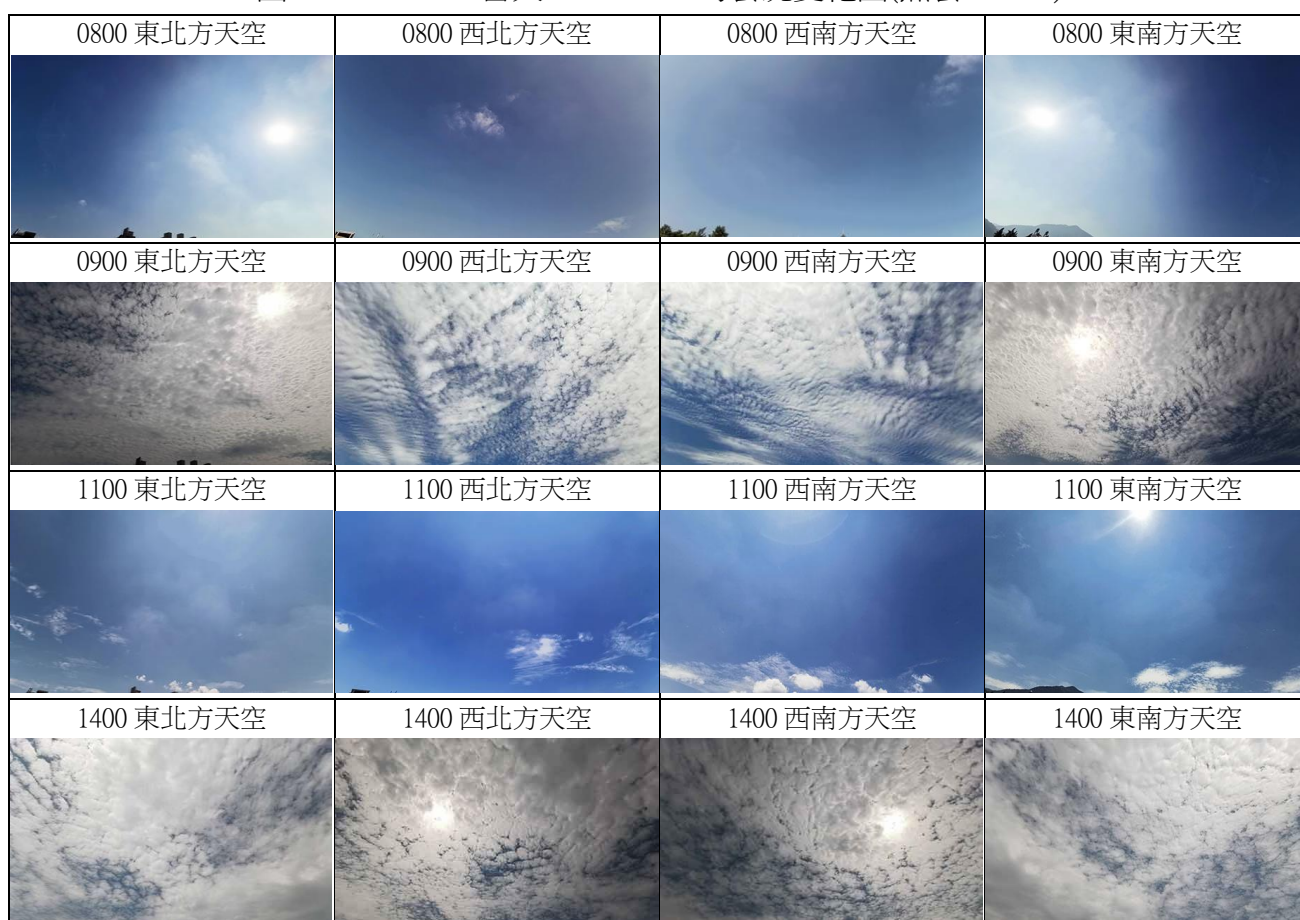


(2).2021-5-10：我們以表格(表 18)來說明當天如何在晴天之下誕生高積雲：

表 18 2021-5-10 雲況記錄與說明(無雲→ACS)(參考圖 39)

觀測時間	雲況記錄與說明
0800	總雲量 0(天空非常晴朗)
0900	總雲量 8。蔽光高積雲 3(主要集中在東北方、東方和東南方)，棉球狀高積雲 2，絮狀高積雲 2，波狀高積雲 1。〔從 0800 的完全無雲，到 0900 的極大量 ACS，這就有力地證明 ACS 確實會在晴天時自己形成〕
1000	總雲量 2.5。絮狀高積雲 1.5，積雲 0.5，卷雲 0.5。
1100	總雲量 1。絮狀高積雲 0.5(東南方)，大塊積雲 0.5(西南方)，少量卷雲。〔天氣十分晴朗〕
1400	總雲量 9。蔽光高積雲 3，絮狀高積雲 2，厚龜甲高積雲 2，棉球狀高積雲 1，龜甲高積雲 1〔從 1100 的極少量雲，到 1400 的極大量 ACS，又再次地證明了 ACS 確實會在晴天中自己形成〕〔若從衛星雲圖來看，埔里上空從 1100~1300 雲量都不多，很奇怪，就在 1300 時爆出了許多 ACS〕
1700	總雲量 0.5。高積雲 0.5，極少量積雲。

圖 39 2021-5-10 當天 0840~1150 的雲況變化圖(無雲→ACS)



除了以上二筆資料之外，我們手邊也有另外 3 筆類似的案例，基於版面篇幅的限制，只以當天主要的雲系變化方式呈現，如表 19 所示。

表 19 雲系變化(無雲→ACS)

日期	雲系變化(0800→1100→1400→1700)
2016-12-14	以絮狀高積雲為主 6 → 無雲 → 無雲 → 以高積雲為主 9
2017-01-18	以薄的高積雲為主 5 → 以高積雲為主 2 → 無雲 → 以高積雲為主 9
2020-12-22	以層雲為主 10 → 無雲 → 以層狀高積雲為主 4 → 以層狀高積雲為主 8

陸、結論

底下依照二個研究目的，依序呈現我們的結論：

一、層狀高積雲與「穩定層」、「濕度」之相關探討

- 1.當極大值 ACS(雲量極多+維持時間長)發生時，幾乎都會伴隨著「三合」(指「馬公-花蓮-台北」三測站上方大氣的穩定層底部幾乎位於同一個高度)的現象。
- 2.當極大值 ACS 發生時，「馬公-花蓮-台北」三地穩定層下方的濕度大多非常高。
- 3.當下限值 ACS(雲量少+維持時間短)發生時，「馬公-花蓮-台北」三地穩定層底部仍然以「三合」為主，但是「二合」或「均不合」的比例也不低。
- 4.當下限值 ACS 發生時，埔里上方的大氣濕度普遍偏低
- 5.即使在雲量很少的情況下，上方大氣仍然存在著穩定層，且仍以「三合」居多。
- 6.綜合以上 1、3、5，得知：**上方大氣的穩定層是經常性的、大範圍的分布。**
- 7.若「馬公-花蓮-台北」三地穩定層底部高度愈一致，則高積雲的「**層狀結構**」就愈能夠維持住，比較不容易轉成其他雲類(若三地穩定層底部高度不一致，即使沒有轉成其他雲類，雲量也會快速遞減)。
- 8.在相同的穩定層條件之下，濕度愈高，ACS 的雲量就愈大。

二、由雲系變化來探討層狀高積雲的形成方式

我們分作三個部分來探討：

1.一早就出現層狀高積雲(ACS)

經過我們詳細地分析每一筆資料後發現，之所以會一早就出現 ACS，大多是受到外來系統的影響：(1).受到鋒面的影響：①若當天鋒面剛好來到台灣正上空，或者很接近台灣(在台灣海峽)，幾乎都會出現蔽光 ACS；②若鋒面離台灣稍遠一點(大概在福建、江西一帶)，大多以出現絮狀高積雲為主；③若鋒面剛通過台灣，那天早上所出現的 ACS 並沒有固定的形態；(2).受到高壓系統移動的影響：①若高壓系統的移動，導致東北風帶來較多的水氣，則當天早上大多以出現棉球狀 ACS 或波狀 ACS 為主；②若高壓系統的移動，導致東北風帶來較少的水氣，則當天早上大多以出現很薄的 ACS 為主；(3).受到颱風的影響：都會產生蔽光 ACS；(4).受到華南雲雨區或南方雲系的影響：都會產生蔽光 ACS。

- 2.關於「雲類轉換」方面：我們發現有四種雲類(高層雲、積雲、卷雲和卷積雲)可以轉化成 ACS，我們同時也對這種轉換作了詳細的觀察與說明。
- 3.有時在無雲的情況下也會突然出現 ACS：我們有觀察到多次這種現象，並對其雲況變化作了詳細的記錄與說明。

柒、未來展望

我們這次研究初步探討了「穩定層」和「濕度」對層狀高積雲形成的影響，也發現了哪些雲類比較容易轉化成層狀高積雲，但是層狀高積雲的形成機制其實相當複雜，像「波動」和「風切」也都會影響層狀高積雲的形成，希望下次有機會再來探討。

捌、參考資料

- 1.吳念芸、李宣儀、羅翊瑄(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。
- 2.吳怡文譯(2020)。愛上雲的技術。新北市：有方文化有限公司。
- 3.劉昭民(2001)。台灣的氣象與氣候。臺北市：常民文化事業有限公司。
- 4.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。
- 5.中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>
- 6.大氣水文研究資料庫 <https://dbar.pccu.edu.tw/Default.aspx>
- 7.NASA 高解析度衛星雲圖 <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

《附錄》

關於當天有出現 ACS 的紀錄，我們總共有 173 筆。基於版面篇幅的限制，在此僅列出與作品說明書內文相關的雲系變化：ACS 極大值、ACS 極小值，與當天早上無 ACS(雲量<4)。至於第二個研究目的，比較相關的雲系變化已在本文中提及，不再贅述。

附表 1 當天出現 ACS 極大值與 ACS 下限值-雲系變化之分析

日期	雲系變化 (0800 → 1100 → 1400 → 1700)
2013-01-21	無雲→以積雲為主 1→以積雲為主 1.8→以高積雲為主 5.8
2013-06-21	以高積雲為主 4.9(雲層薄)→以高層雲為主 5.1→□(表示沒觀察到)→以高積雲為主 1.3
2013-11-05	以蔽光高積雲為主 5.9→以濃積雲為主 4.4→以高積雲為主 1.6→以藍灰色雲層為主 5.7
2013-11-14	以高積雲為主 4.2→以高積雲為主 1.7→以高積雲為主 1.9→以高積雲為主 1.5
2013-12-07	以透光高積雲為主 5.5→以高積雲為主 1.0→以高積雲為主 2.4→以高積雲為主 3.2
2013-12-14	以漏光高積雲為主 4.9→以層狀高積雲為主 3→以高層雲為主 6.7→□
2014-01-06	以蔽光高積雲為主 7.1→以蔽光高積雲為主 8.1→以高積雲為主 4.3→以高積雲為主 0.6
2014-02-26	以漏光高積雲為主 4.3→以漏光高積雲為主 3.8→以漏光高積雲為主 3.3→以漏光高積雲為主 1.1
2016-12-20	以層狀絮狀高積雲為主 5→以絮狀高積雲為主 3→以絮狀層狀高積雲為主 1→以高積雲為主 1
2016-12-23	以大塊的積雲為主 3→以濃積雲為主 2→以濃積雲為主 2→以高積雲為主 4
2017-01-21	以波狀 ACS 為主 10→以 ACS 為主 10→以波狀 ACS 為主 6→以絮狀 ACS 為主 7.5
2017-01-22	以絮狀 ACS 為主 5→以透光、絮狀 ACS 為主 5.9→以高積雲為主 2→以高積雲為主 1
2017-01-24	以薄 ACS 為主 10→透光 ACS6+漏光 ACS4→透光 ACS5+漏光 ACS5→波狀 ACS4+漏光 ACS4+絮狀 ACS2
2017-01-31	以漏光 ACS 為主 10→以透光高積雲為主 3→以透光 ACS 為主 10→以透光 ACS 為主 10
2017-02-01	以透光 ACS 為主 8→以透光 ACS 為主 10→以透光 ACS 為主 10→以漏光 ACS 為主 10
2017-03-02	以漏光 ACS 為主 5→以漏光 ACS 為主 3→□→以高積雲為主 5
2017-03-07	以高積雲、層雲為主 10→以高積雲、層雲為主 10→以蔽光 ACS 為主 10→以蔽光 ACS 為主 10
2017-03-09	以層雲為主 10→以高層雲為主 10→以絮狀 ACS 為主 8→以透光 ACS 為主 8
2017-03-10	以 ACS 主 9→以蔽光 ACS 為主 9→□→□
2017-03-16	以厚層雲為主 10→以厚層雲為主 10→以漏光 ACS 為主 9→以漏光 ACS 為主 10
2017-03-31	以濃積雲為主 1.5→以濃積雲為主 3→以漏光 ACS 為主 9.8→以漏光 ACS 為主 9.8
2017-04-19	以絮狀高積雲為主 2→以絮狀高積雲為主 5→以巨塊層積雲為主 3.6→以蔽光 ACS 為主 10
2017-04-23	□→□→以透光 ACS 為主 10→以透光 ACS 為主 10
2021-03-03	高層、高積混合雲 10→高層、高積混合雲 10→高層、高積混合雲 10→高層、高積混合雲 10

附表 2 當天早上無 ACS(雲量<4)-雲系變化之分析

日期	雲系變化(0800→1100)	日期	雲系變化(0800→1100)	日期	雲系變化(0800→1100)
2017-01-03	無雲→無雲	2021-03-08	無雲→積雲 1	2021-03-18	無雲→無雲
2017-01-04	無雲→無雲	2021-03-09	無雲→少量積雲	2021-03-19	無雲→無雲
2017-01-06	無雲→少許積雲 ACS	2021-03-10	無雲→積雲 2	2021-03-20	薄層雲→薄層雲
2017-01-10	薄絮狀高積雲 1.2→積雲 1	2021-03-13	無雲→積雲 2~3	2021-03-26	薄層雲→極少量積雲
2017-01-11	高積雲 0.7→纖維狀卷雲<1	2021-03-16	高積雲 3→極少量積雲		

【評語】 030510

【優點】

1. 研究主題與生活相關，瞭解雲的種類與大氣的變化(穩定層，濕度)。
2. 資料整理與相關查詢完整。
3. 觀察詳實，深入觀察在地層狀高積雲的特徵。

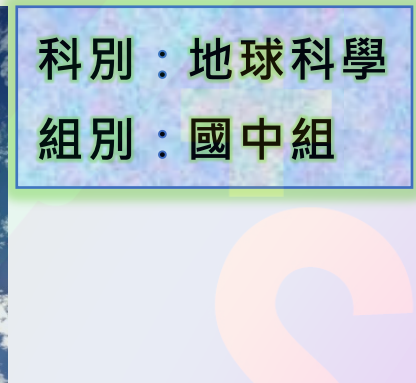
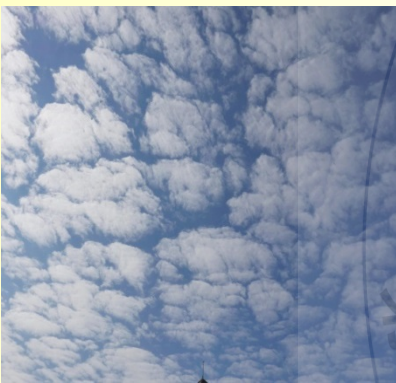
【建議】

1. 此成果多為科學議題探討，建議可以想辦法增加應用的考量。
2. 欠缺探索性，多為定性、已知之知識。

作品簡報

層狀高積雲與天氣變化 之探討

科別：地球科學
組別：國中組



摘要

壹、研究動機

貳、研究目的

一、層狀高積雲與「穩定層」
、「濕度」之相關探討

二、由雲系變化來探討層狀高積雲
的形成方式

參、研究器材與設備

肆、研究過程或方法

※ 雲的判斷方法：

- 1.較好判斷的雲類：例如卷雲、層狀高積雲
- 2.判斷難度中等的雲類：例如網狀卷積雲、網狀高積雲、層積雲
- 3.較難判斷的雲類：以卷積雲和較高的高積雲為例：
 - (1).外觀；(2).雲高：①.利用手指判斷、②.衛星雲圖；(3).陰影；(4).維持時間長短；(5).斜溫圖；(6).詢問專業人士。

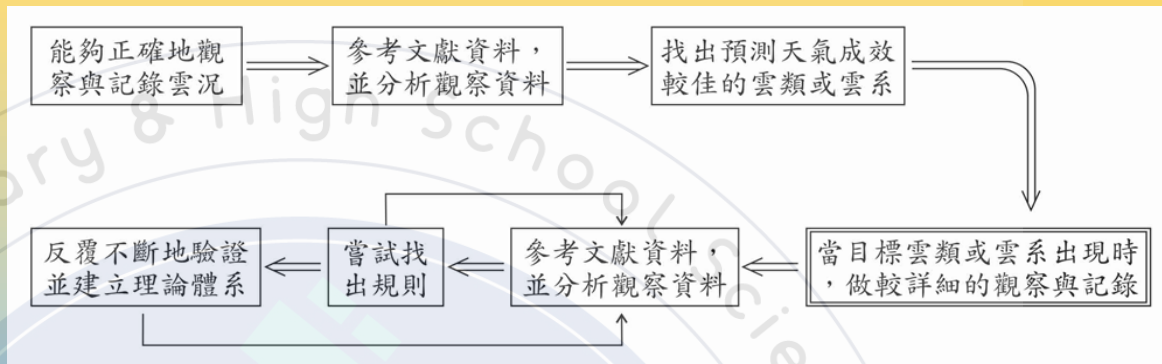


圖1 研究雲的SOP簡化流程圖



圖2 埔里附近較高的山頭



圖3 在觀測地點的觀察方式

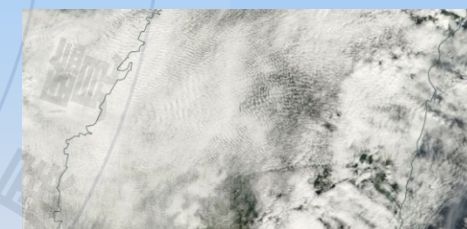


圖4 Terra的衛星雲圖(2016-11-26)



圖5 此圖為圖4 的雲頂高度圖

伍、研究結果與討論

一、層狀高積雲與「穩定層」、「濕度」之相關探討

前言：

1. 選擇哪一個探空測站？

(1). 若針對埔里，則以馬公為主

(2). 若要探討大範圍的穩定層 →

馬公、花蓮、台北三測站一起探討

2. 什麼是「強穩定層」？ → 指接近逆溫層的穩定層

3. 如何決定濕度的量值大小？

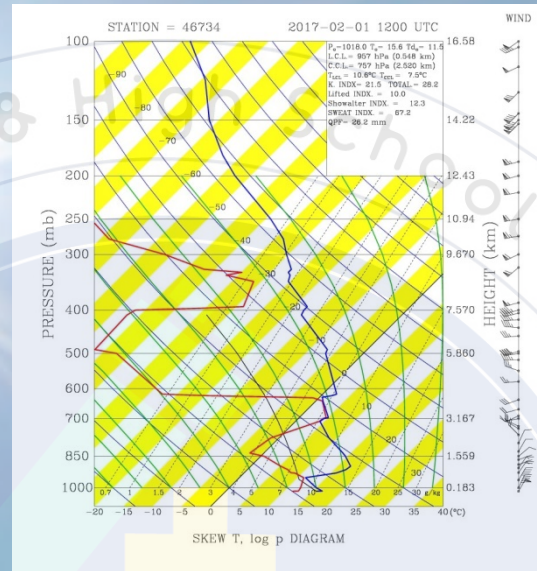


圖6 2017-02-01-0800 斜溫圖

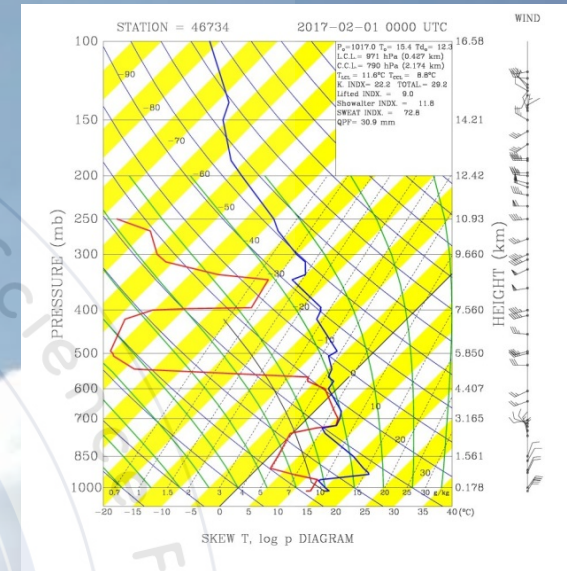


圖7 2017-02-01-2000 斜溫圖



2017-02-01-0800

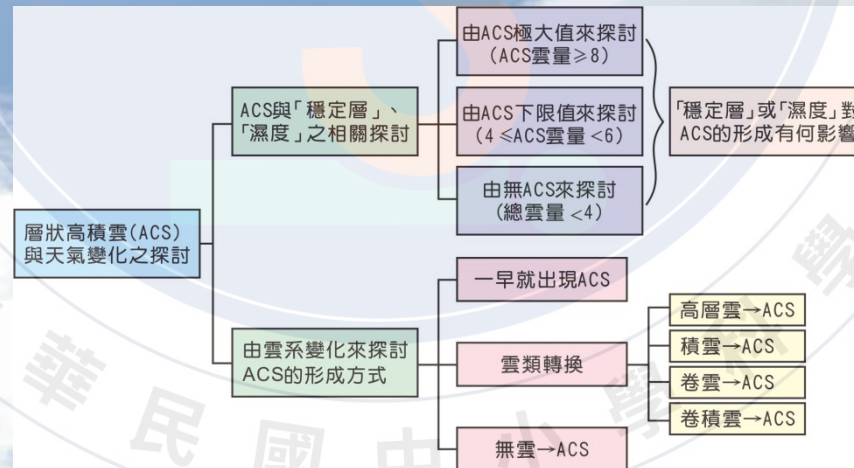


圖9 本次研究之研究架構圖



圖8 馬公、花蓮和台北測站位置圖

結果

(一).ACS要產生極大值(雲量極多+維持時間長)，有何條件？

- 1.都會伴隨著「三合」的現象
- 2.「馬公-花蓮-台北」三地穩定層下方的濕度大多非常高

〔補充說明〕

(1).什麼是「ACS極大值」？

→在連續二個觀測時間點之內，雲量都能維持在8以上。

(2).因為2017-3-16和2017-3-31這二天的穩定層是一個較弱的穩定層，所以我們就取其中間值，並以上下引線標示其最大值與最小值。

(3).濕度方面，我們取「穩定層下方1000m的平均濕度」，因為這範圍通常是ACS所在之處。

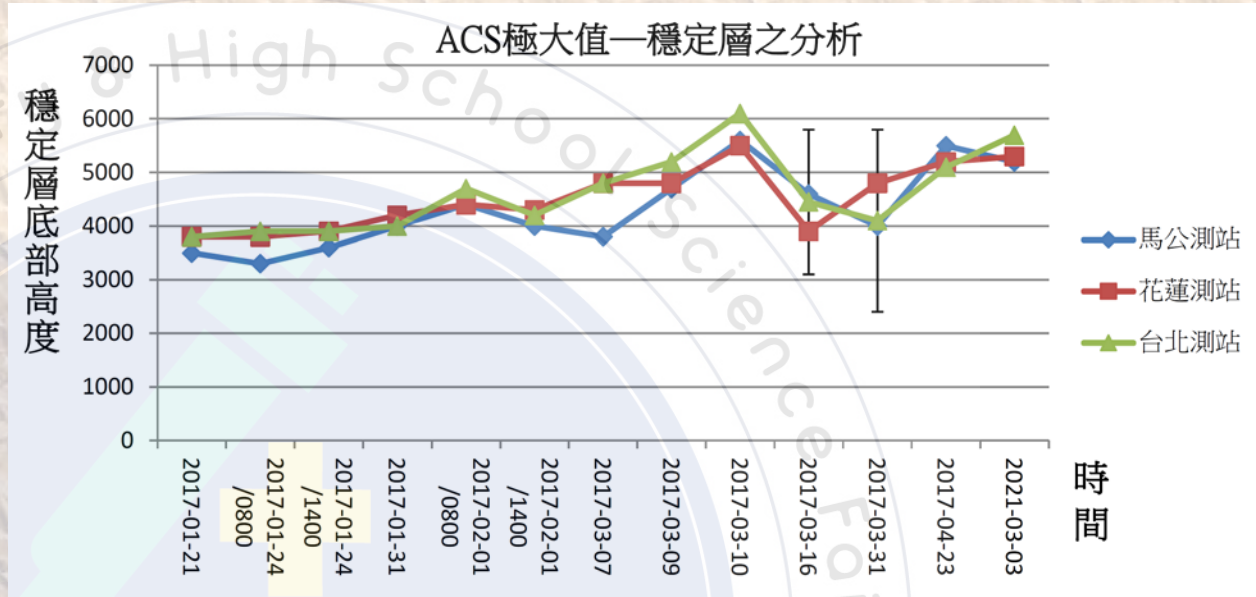


圖10 ACS極大值-穩定層之分析(取穩定層底部)

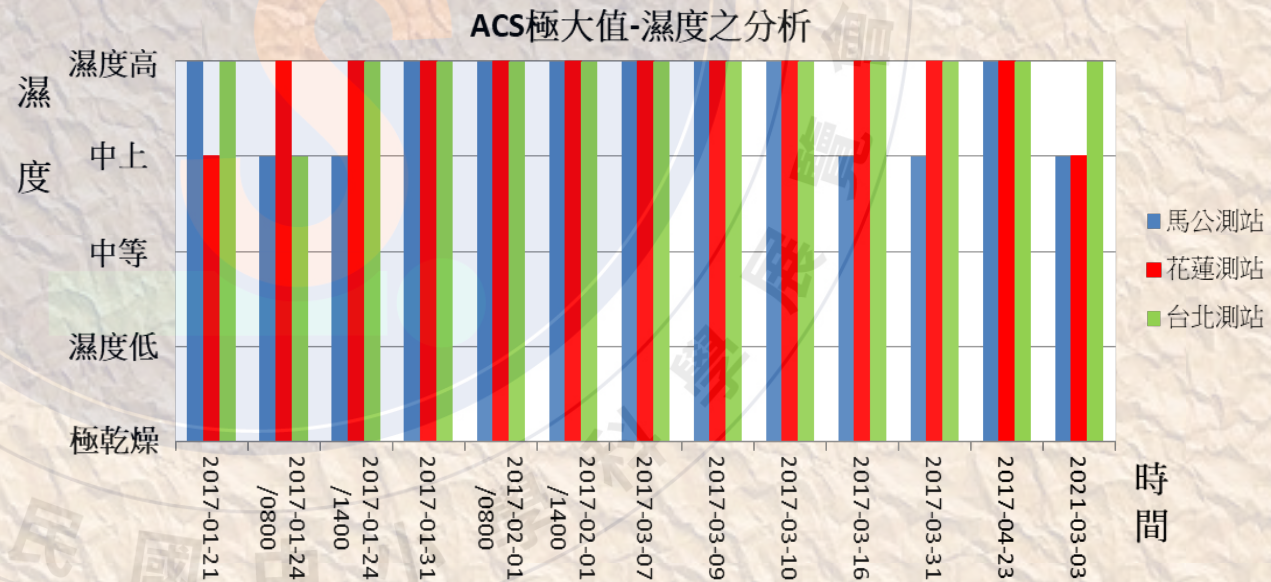


圖11 ACS極大值-濕度之分析

(二).若 ACS 產生下限值，是何原因？

什麼是「ACS的下限值」呢？

在 $4 \leq \text{ACS雲量} < 6$ 的前提下，若此雲量維持時間短(< 3小時)，或者雲量維持時間在3~6小時之間但雲層很薄，二者均符合我們界定的下限值。

1.穩定層以「三合」為主，但是「二合」或「均不合」的比例也不低

2.當下限值ACS發生時，埔里上方的大氣濕度普遍偏低

【深入探討】

1.2013-6-21、2013-11-5和2017-4-19三天在「均不合」的情況下，為何還可以形成ACS？其雲況分布如何？

2.2013-12-14、2014-1-6和2017-4-19這三天整體濕度都不低，為何ACS仍只出現下限值？

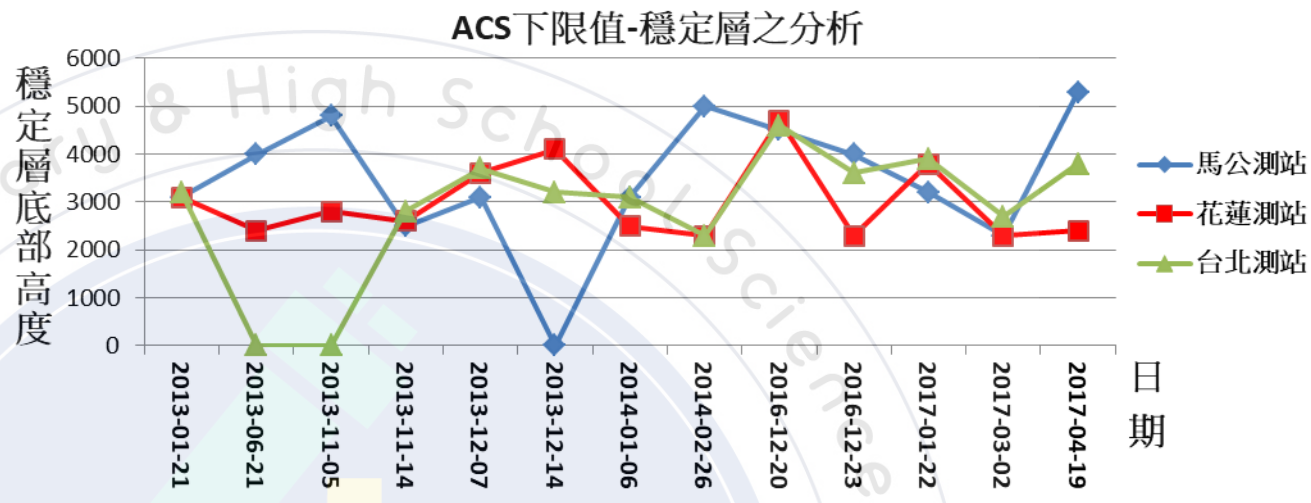


圖12 ACS下限值-穩定層之分析(取穩定層底部)

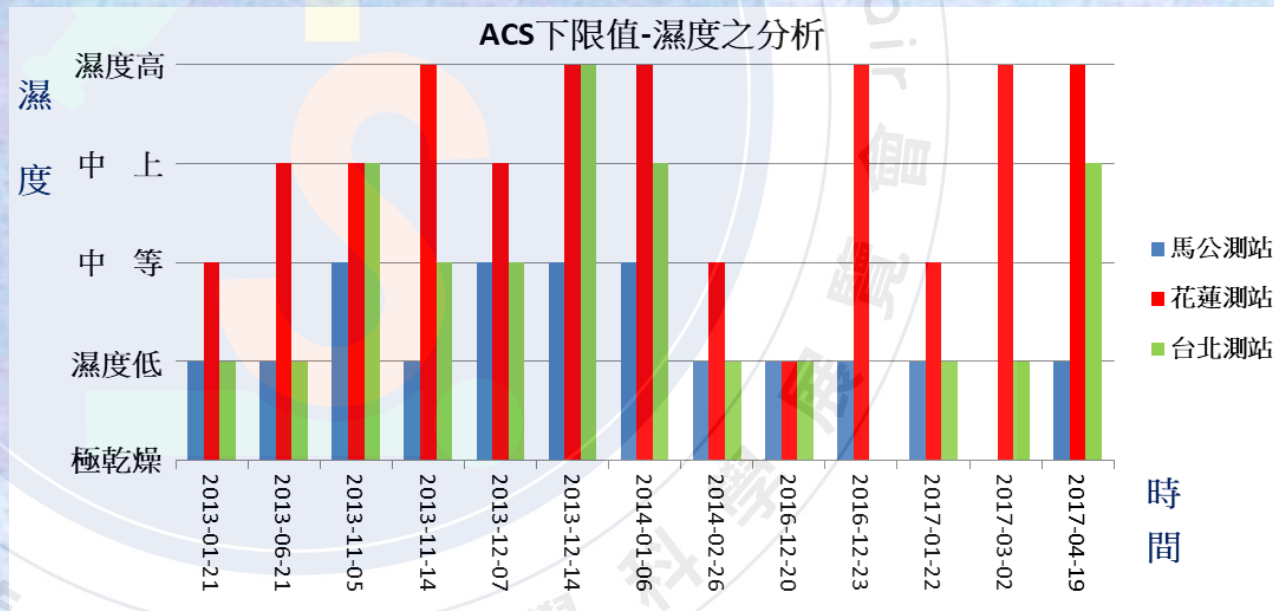


圖13 ACS下限值-濕度之分析

(三).若無ACS，則那一天大氣中是否就沒有存在穩定層？

1.穩定層仍然是以大範圍的方式存在

2.綜合以上的討論→

穩定層是經常性的存在

(四).穩定層或濕度對ACS的形成各有何影響？

1.穩定層對ACS的影響

(1).穩定層決定ACS的層狀結構：

以2013-12-14為例：①馬公無穩定層、另二個測站是「二合」；②整體濕度偏高；③結果，埔里上空幾乎無雲，雲大多中在東部和東北部

(2).穩定層底部高度愈一致，其穩定性愈高：

以2014-2-26和2017-1-22為例：①二者在濕度分布上都十分接近；②前者是二合，後者是三合；③結果，前者雲況很快地由ACS-4.3，降到非ACS的3.8，而後者的雲況，不減反增，ACS雲量由5.0增加到6.0。

2.大氣濕度對ACS的影響

→ 在有穩定層的情況下，ACS的雲量多寡由大氣濕度決定

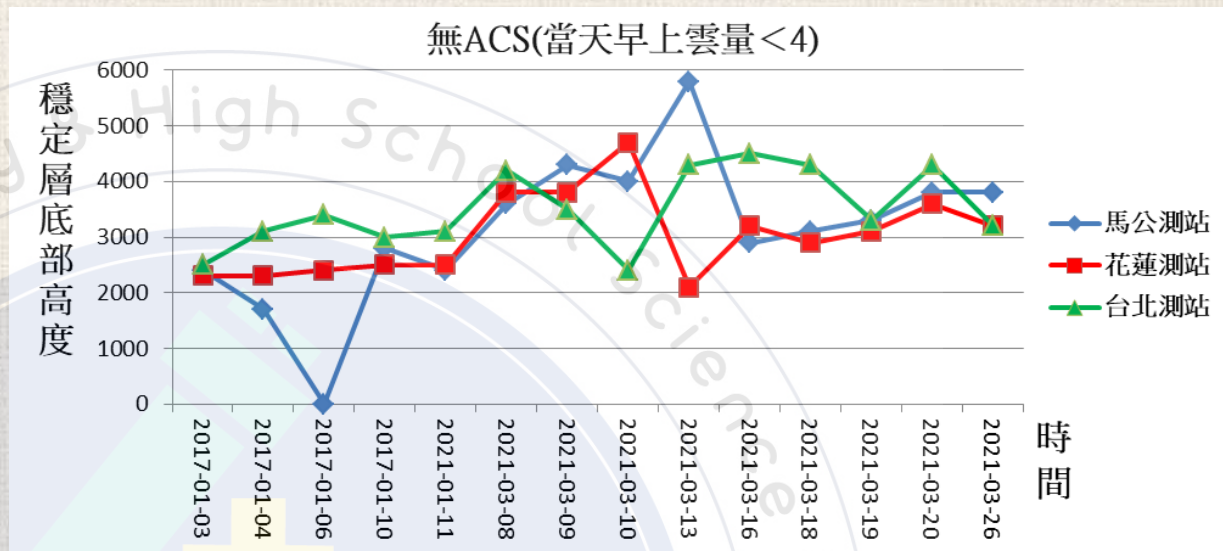


圖14 當天無ACS(雲量<4)-穩定層之分析(取穩定層底部)

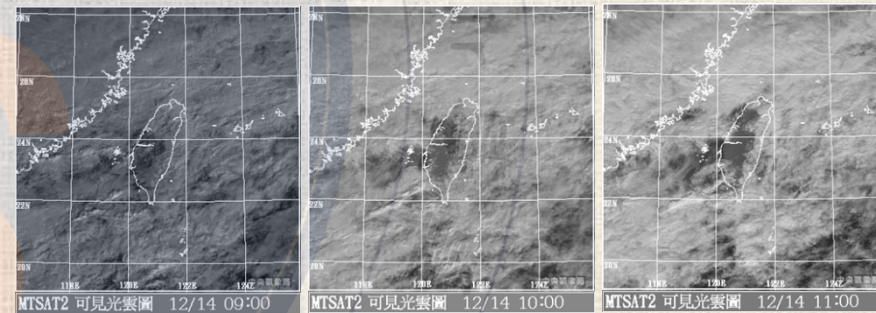


圖15 2013-12-14當天早上0900~1100的衛星雲圖

二、由雲系變化來探討層狀高積雲的形成方式

(一).一早就出現層狀高積雲(ACS)

1.受到鋒面的影響(表1)

2.受到高壓系統移動的影響(表2)

3.受到颱風的影響(表3)

4.受到華南雲雨區或南方雲系的影響(表4)

表3 一早就出現ACS-受到颱風的影響

日期	外來系統的影響	一早主要雲況
2012-12-27	受到 悟空颱風 外圍環流的影響	蔽光 ACS-4.6
2013-01-04	受到 蘇納姆颱風 外圍環流的影響	蔽光 ACS-6.1
2020-11-06	受到 閃電颱風 外圍環流的影響	蔽光 ACS-8.0
2020-11-09	艾陶颱風 往西朝中南半島前進，中高層水氣移入台灣	蔽光 ACS-8.0
2020-11-13	受到 梵高颱風 外圍環流的影響	蔽光 ACS-10.0

表4 一早就出現ACS-受到華南雲雨區或南方雲系的影響

日期	外來系統的影響	一早主要雲況
2013-12-14	受到 華南雲雨區 東移的影響	蔽光 ACS-4.9
2016-11-29	受到 南方雲系 北移的影響	蔽光 ACS-6.0
2017-01-13	受到 華南雲雨區 東移的影響	蔽光 ACS-10.0
2020-12-07	受到 南方雲系 北移的影響	蔽光 ACS-7.0
2021-01-21	受到 南方雲系 北移的影響	蔽光 ACS-6.0
2021-03-04	受到 華南雲雨區 東移的影響	蔽光 ACS-4.0

表1 一早就出現ACS-受到鋒面的影響

日期	鋒面所在的位置	一早主要雲況	日期	鋒面所在的位置	一早主要雲況
2012-11-26	在 台灣 正上空	蔽光 ACS-5.8	2017-03-01	在 宜蘭 東方約600公里	透光 ACS-10.0
2013-06-12	在 台灣 正上空	蔽光 ACS-6.6	2017-03-06	台灣 東部沿海	蔽光 ACS-10.0
2014-05-12	在 台灣 海峽	蔽光 ACS-5.2	2017-03-10	在 台灣 海峽	蔽光 ACS-9.0
2016-12-21	在 福建-江西 交界	薄 ACS-5.0	2017-03-19	在 基隆 東北方約400公里	蔽光 ACS-10.0
2017-01-19	在 基隆 東北方約600公里	薄 ACS-5.0	2017-04-06	福建-江西 交界	絮狀 ACS-10.0
2017-01-30	在 台灣 正上空	透光 ACS-10.0	2017-04-21	福建 上空	絮狀 ACS-8.0
2017-02-22	在 福建 東部	絮狀 ACS-6.0	2017-04-25	福建-江西 交界	絮狀 ACS-10.0
2021-03-02	台灣 東部沿海	厚龜甲 ACS 7.0			

表2 一早就出現ACS-受到高壓系統移動的影響

日期	高壓所在的位置，移動方式(風向)	一早主要雲況	大氣水氣含量
2016-12-03	東海 ，向東緩慢移動(帶來東北風)	薄 ACS-5.0	濕度中等
2016-12-14	河南 ，向東南移動(帶來強烈東北風)	絮狀 ACS-6.0	濕度低
2016-12-17	浙江 海面，向東移動(帶來東北風)	薄 ACS-9.5	十分乾燥
2016-12-30	黃海南部 ，向東緩慢移動(帶來東北風)	薄 ACS-9.0	濕度低
2016-12-31	黃海南部 ，向東緩慢移動(帶來東北風)	薄 ACS-6.0	十分乾燥
2017-01-21	浙江 ，向東移動(帶來強烈東北風)	波狀 ACS-10.0	濕度高
2017-01-22	安徽 ，向東南東移動(帶來強烈東北風)	絮狀 ACS-5.0	十分乾燥
2017-01-23	山東 ，向南南東移動(帶來強烈東北風)	大棉球 ACS-5.0	濕度中上
2017-01-24	黃海南部 ，向東南緩慢移動(帶來東北風)	波狀 ACS-10.0	濕度中上
2017-01-25	黃海 ，向東南東移動(帶來東北風)	波狀 ACS-10.0	濕度高
2017-01-26	東海 ，向東南移動(帶來東北風)	透光 ACS-5.0	十分乾燥
2017-01-31	江蘇 ，向東緩慢移動(帶來強烈東北風)	透光 ACS-10.0	濕度低
2017-02-02	江蘇 ，向東南東緩慢移動(帶來強烈東北風)	透光 ACS-10.0	十分乾燥
2017-03-02	安徽 ，向東南東移動(帶來強烈東北風)	透光 ACS-5.0	十分乾燥
2017-03-17	黃海南部 ，向東移動(帶來東北風)	透光 ACS-10.0	濕度低
2020-12-04	河南 ，向東移動(帶來東北風)	棉球 ACS-9.0	濕度高

(二).雲系轉換(其他雲類 → ACS)

1.高層雲 → ACS

以2020-12-4為例：從下往上看是高層雲(圖20)；可是由衛星雲圖從上往下看(圖21)，雲頂又有許多類似高積雲的積狀結構—這就是所謂的「高層、高積混和雲」

2.積雲 → ACS

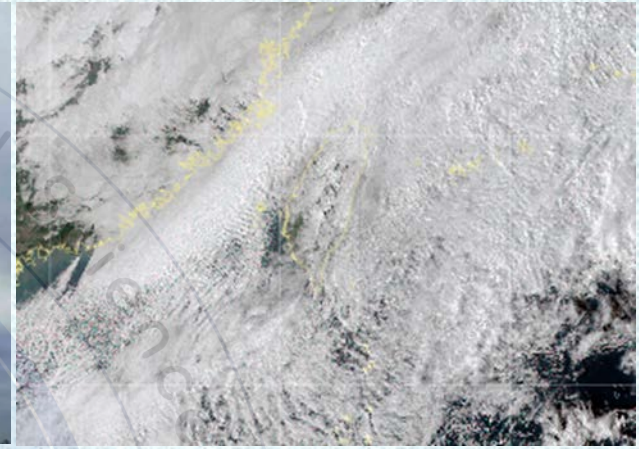
積雲屬於直展雲族，為什麼會轉化成以水平發展為主的ACS呢？根據荒木健太郎的說法，是因為「發達的積雲往水平方向蔓延而形成」。

我們以2016-12-5為例來說明：

圖20 2020-12-4-1500 西方天空

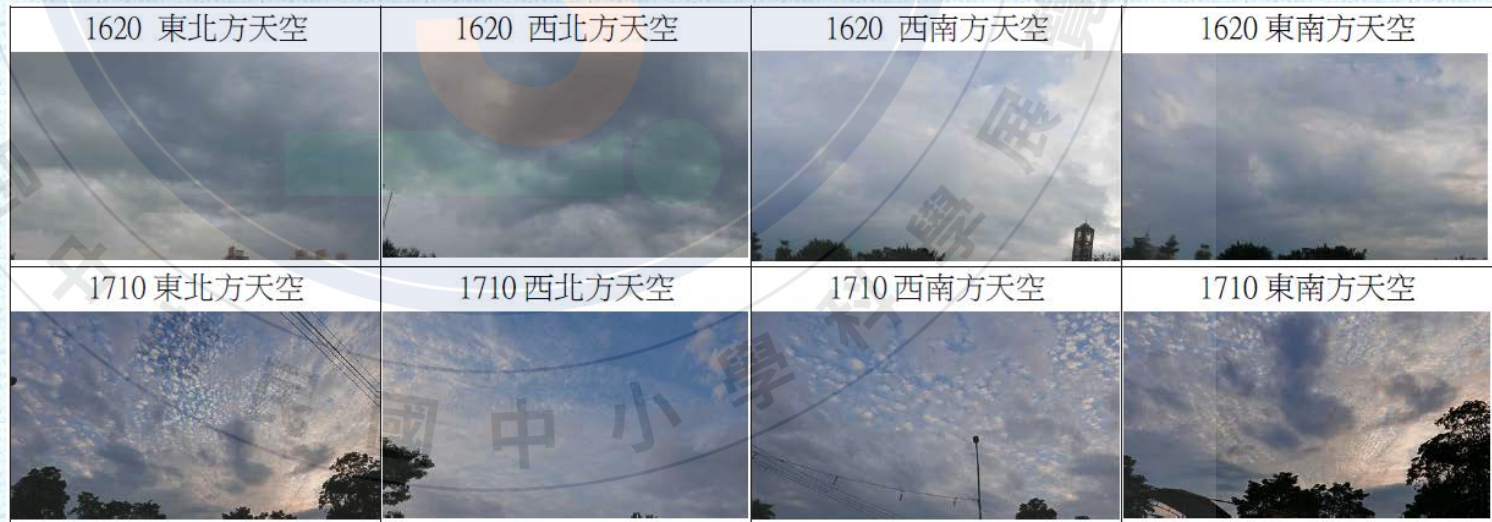


圖21 2020-12-4-1500 衛星雲圖



2016-12-5雲況說明：1330~1620時，沒有看到任何ACS，1620~1700時，濃積雲布滿天空(圖22)—1710時我們才赫然發現，濃積雲上方竟然籠罩著一大片絮狀ACS(雲量6左右)
→ 我們判斷這些絮狀ACS應該是由濃積雲轉變而來的。

圖22 2016-12-5 當天下午1600以後的雲況變化圖(濃積雲→ACS)

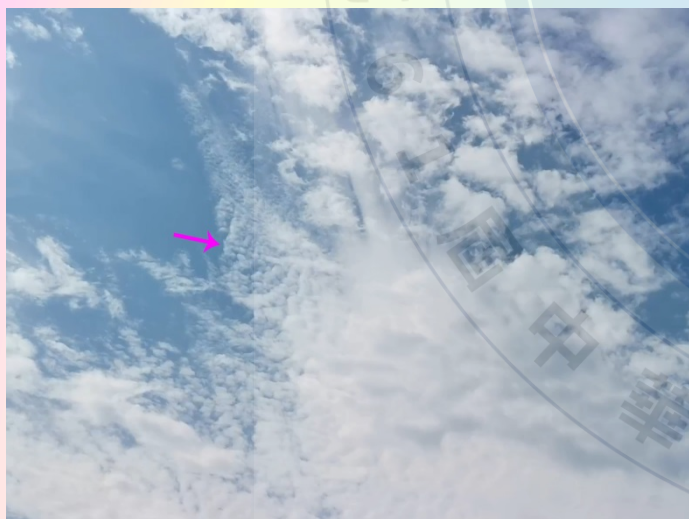


3.卷雲 → ACS

(1).2021-5-4：關鍵4分鐘



2021-5-4-0821：粉紅色箭頭所指之處即為目標卷雲



2021-5-4-0824：目標卷雲下半段已轉成ACS

(2).2021-5-1：觀察到2次卷雲轉成高積雲

0840：卷雲和卷層混合雲8。

0930：卷雲和卷層混合雲6，絮狀高積雲2。

這是今天第一次卷雲→高積雲。

1100：卷雲和卷層混合雲7

1200：高積雲約佔一半以上。這是今天第二次卷雲→高積雲。

2021-5-1 當天0840~1200的雲況變化圖(卷雲→ACS)

0840 東北方天空	0840 西北方天空	0840 西南方天空	0840 東南方天空
0930 東北方天空	0930 西北方天空	0930 西南方天空	0930 東南方天空
1100 東北方天空	1100 西北方天空	1100 西南方天空	1100 東南方天空
1200 東北方天空	1200 西北方天空	1200 西南方天空	1200 東南方天空

4.卷積雲 → ACS

(1).2021-5-11 :

0938 : 出現一大片**波狀卷積雲**
(圖25橢圓形圈起來的部分)

0954(圖26) : 卷積雲和高積雲
的轉換已達到顛峰。



圖25 2021-5-11-0938



圖26 2021-5-11-0954

(2).2016-11-26 :

0850 : 出現許多**卷積雲**(圖27)
(其中有許多**網狀卷積雲**)。

0906 : 右半邊已經出現許多高積雲
(圖28)(以**蔽光高積雲**為主)。

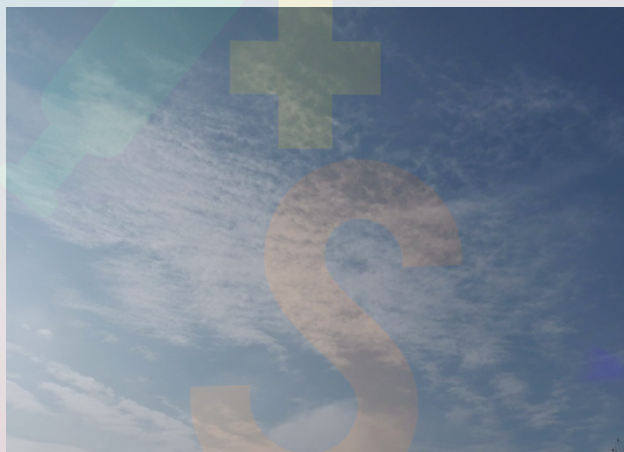


圖27 2016-11-26-0850 (衛星雲圖無法顯示)



圖28 2016-11-26-0906 (衛星雲圖可以顯示)

(三).無雲 → ACS

(1).2016-12-13 :

0800 : 出現
莢狀高積雲

0926~1400 :

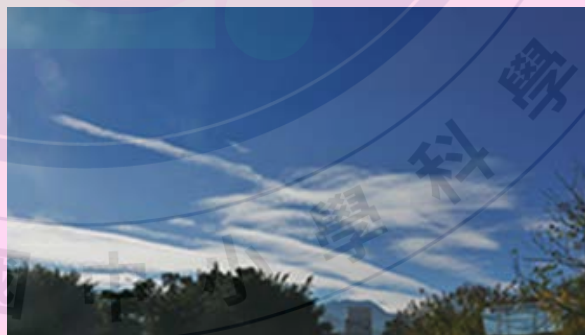
幾乎無雲

1517 : 出現了

絮狀ACS-6



2016-12-13-0800



2016-12-13-0926



2016-12-13-1517

(2).2021-5-10

圖39 2021-5-10 當天0840~1150的雲況變化圖(無雲→ACS)

0800：總雲量0(天空非常晴朗)

0900：ACS8 (蔽光3、棉球2、絮狀2、波狀1。〔今天第一次ACS在晴天時自己形成〕)

1000~1300：天氣十分晴朗

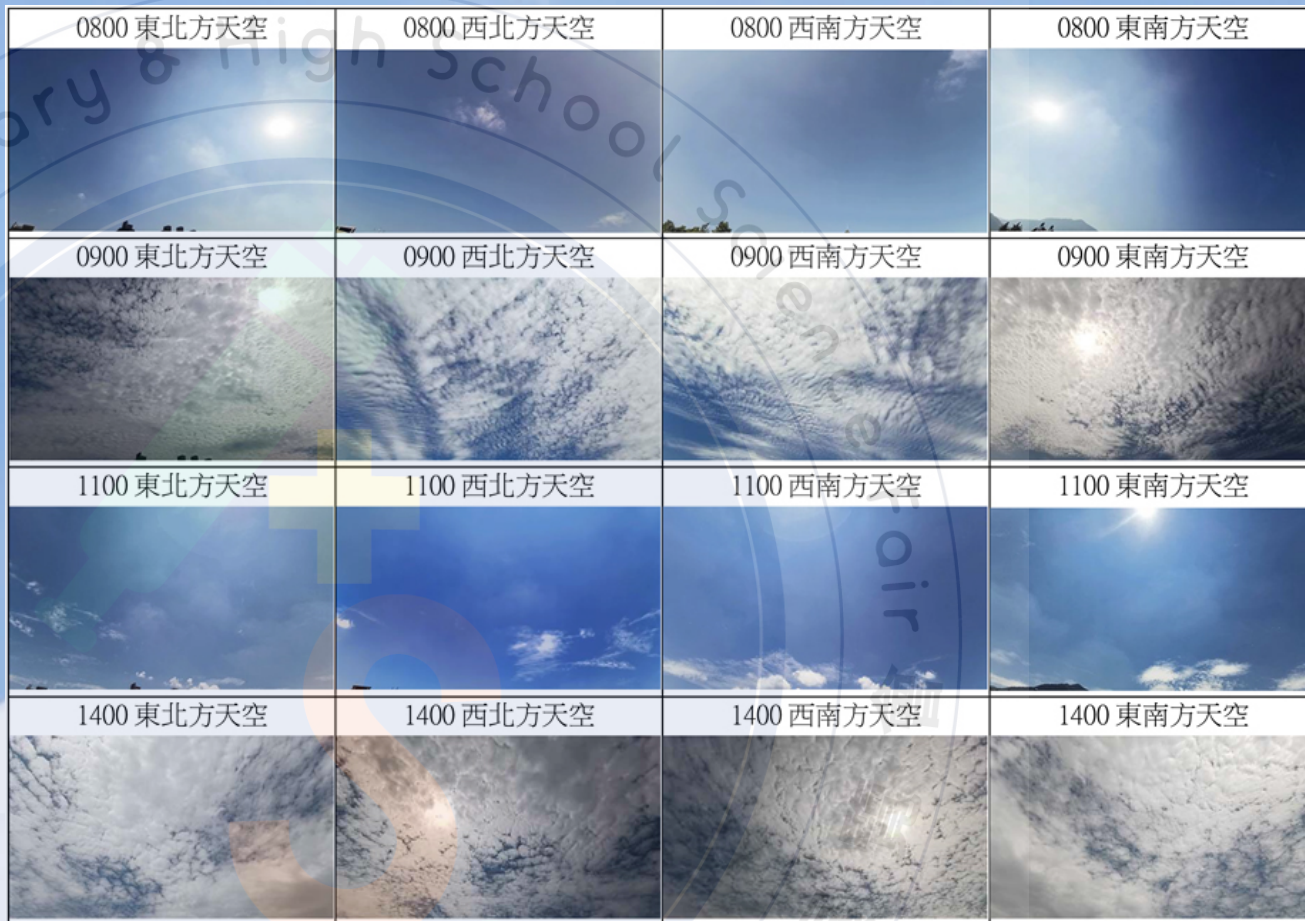
1400：ACS9 (蔽光3、絮狀2、厚龜甲2、棉球1、龜甲1)

〔今天第二次ACS在晴天中自己形成〕

陸、結論

一、層狀高積雲與「穩定層」、「濕度」之相關探討

- 1.當極大值ACS (雲量極多 + 維持時間長)發生時，幾乎都會伴隨著「三合」的現象。
- 2.當極大值ACS發生時，「馬公-花蓮-台北」三地穩定層下方的濕度大多非常高。
- 3.當下限值ACS發生時，「馬公-花蓮-台北」三地穩定層底部仍然以「三合」為主，但是「二合」或「均不合」的比例也不低。
- 4.當下限值ACS發生時，埔里上方的大氣濕度普遍偏低。



- 5.即使在雲量很少的情況下，上方大氣仍然存在著穩定層，且仍以「三合」居多。
- 6.綜合以上1、3、5，得知：上方大氣的穩定層是經常性的、大範圍的分布。
- 7.若「馬公-花蓮-台北」三地穩定層高度愈一致，則高積雲的「層狀結構」就愈能夠維持住，比較不容易轉成其他雲類(若三地穩定層底部高度不一致，即使沒有轉成其他雲類，雲量也會快速遞減)。
- 8.在相同的穩定層條件之下，濕度愈高，ACS的雲量就愈大。

二、由雲系變化來探討層狀高積雲的形成方式

1.一早就出現層狀高積雲(ACS)

- (1).受到鋒面的影響：①若當天鋒面剛好來到台灣正上空，或者很接近台灣，幾乎都會出現蔽光 ACS；②若鋒面離台灣稍遠一點，大多以出現絮狀高積雲為主；③若鋒面剛剛通過台灣，那天早上所出現的ACS並沒有固定的形態。
- (2).受到高壓系統移動的影響：①若東北風帶來較多的水氣，則大多以出現棉球狀 ACS 或波狀ACS為主；②若東北風帶來較少的水氣，則大多以出現很薄的ACS為主。
- (3).受到颱風的影響：都會產生蔽光ACS。
- (4).受到華南雲雨區或南方雲系的影響：都會產生蔽光ACS。

2.關於「雲類轉換」的方面：我們發現四種雲類（高層雲、積雲、卷雲和卷積雲）可以轉化成ACS，我們同時也對這種轉換作了詳細的觀察與說明。

3.有時在無雲的情況下也會突然出現ACS：以2016-12-13和2021-5-10為例來說明。