

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 地球科學科

佳作

030510

「濃」、「卷」、「鋒」-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 吳念芸  國一 李宣儀  國一 羅翊瑄	指導老師：  蔡永巳  張全亨
---	-----------------------------

關鍵詞：濃積雲、卷雲、冷鋒

## 摘要

我們對埔里的雲況做了三年的觀察，並嘗試利用各種分析方法來探討雲與天氣變化之關係。研究成果略述如下：(1).在卷雲與總雲量變化方面：我們發現了 AL-4 和 AL-Ccon 二個法則，可以用來預測總雲量的劇烈改變。(2).在卷雲與下雨預測方面：我們發現若雲況符合 AL-FC 法則，則 8 小時之內一定會下雨；若再搭配 CAPE、風切、濕度等條件，更可以用來預測主降雨區的雨量大小。(3).在冷鋒方面：我們發現台灣低壓-冷鋒系統形成前 3 天，都會出現大量的層狀高積雲，而且上方大氣都會有很強的逆溫層或穩定層(通常會持續到鋒面形成當天)；至於來自大陸的冷鋒當中，我們發現有三種類型是可以用雲況來確定鋒面是否即將到來。

## 壹、研究動機

說到研究動機，其實我們當初的動機很單純，就是喜歡雲—喜歡雲的飄逸，喜歡雲的變化莫測，更喜歡雲總是出奇不意地在天空畫布上揮灑著創意。在古代，雲和人們的日常生活有著非常緊密的關係，不論是農作、慶典、行軍打仗等等，都得先察「雲」觀色，否則就像現代人的一句口頭禪：「後果自行負責」。但是，隨著科技的進步，人們卻只能依賴氣象單位所提供的資訊，對於大氣善變心情的察顏觀色能力已逐漸喪失；就如同《看雲趣》這本書的作者 Gavin Pretor-Piney 所說的：我們好像得了「氣象自閉症」。因此我們希望透過這次的研究培養出觀察雲的能力，並試著找出雲與天氣變化之關係。

## 貳、研究目的

之前，本校學長、姊已做過二年關於雲與天氣的研究，中間隔了三年，我們今年再承接下來繼續研究。底下是我們這次的研究目的：

- 一、卷雲與總雲量變化之相關探討
- 二、卷雲與下雨預測之相關探討
- 三、冷鋒鋒面接觸台灣前之天氣變化相關探討

雖然研究目的有三個，但是只有二個主題，「卷雲」和「冷鋒」。我們希望藉由卷雲來預測夏、秋二季的天氣，也希望利用雲系變化來預測冬、春季冷鋒鋒面的到來。如此，**我們就可以對整個年度的雲系變化有較完整的了解。**

## 參、研究器材與設備

一般而言，觀察雲並不需要特別的器材與設備，平常用眼睛觀察，再以紙、筆記錄下來即可。不過，若能結合現代的氣象科技，應該可以讓雲與天氣變化的研究更為精確、也更有系統，因此，網路資訊設備對我們而言，也是非常重要的。之前，學長、姊的研究就是因為沒有取得足夠的氣象資訊，導致研究成果並不令人十分滿意。很幸運的是，我們這次的研究有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」、「懷俄明大學的 Sounding Map」和「NASA 的高解析度衛星雲圖」等等（其餘網站請參考 P.30 的參考資料），讓我們獲益匪淺。

## 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，雲與天氣關聯性的分析也十分困難——即使對雲已經能夠正確地觀察記錄，但是什麼樣的雲或雲系導致什麼樣的天氣變化，實在很難確定；若要更深究其背後的機制，可說難上加難。基於以上二個原因，我們這幾年在做雲的研究時，所遭遇的挫折，非旁人所能體會。雖然如此，我們今年的研究成果卻十分豐碩，總算多年的心血沒有白費。底下先介紹一下我們的研究過程或方法（圖 1 所示為我們研方法簡化流程圖）。

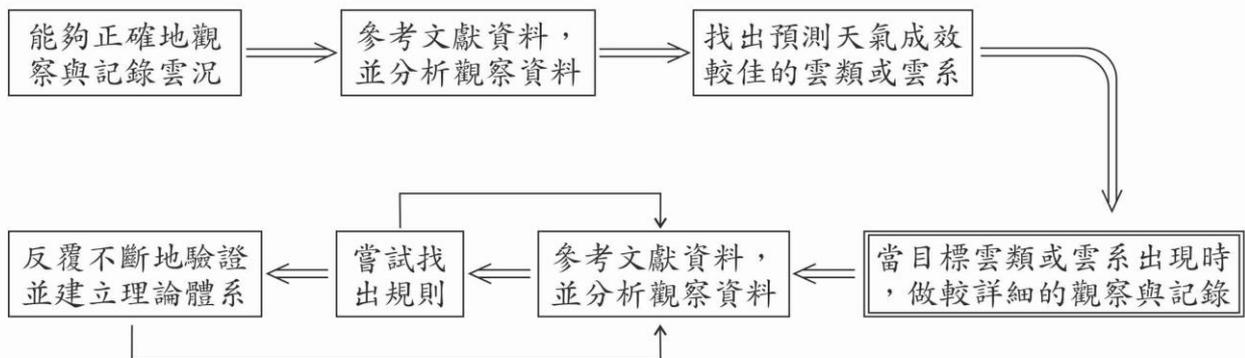


圖 1 研究方法簡化流程圖

## (一).能正確地觀察與記錄雲況

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。

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、雨層雲、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：例如多孔卷積雲、多孔高積雲、層積雲等等。這些雲類除了從外觀下手之外，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 2 所示）。



圖 2 埔里附近較高的山頭

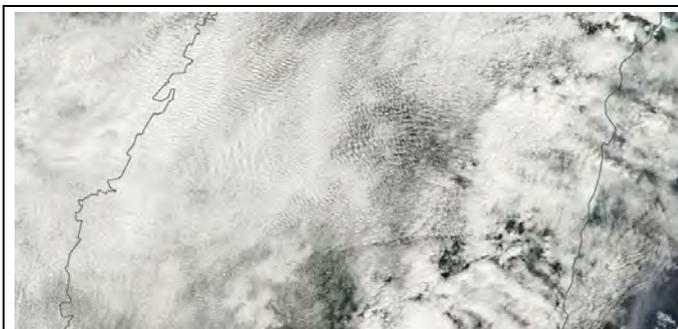


圖 3 Terra 拍攝的衛星雲圖（圖中的中心點為埔里）

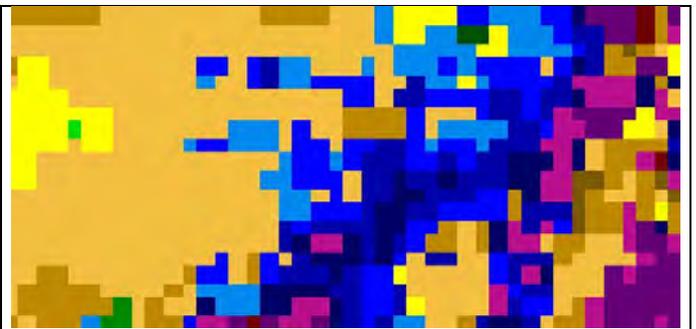


圖 4 此圖為圖 3 的雲頂高度圖--Cloud Top Height

註 1：圖 4 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 3、圖 4）。(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)Skew-T 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。

其次，如何正確地將所觀察的雲況記錄下來，也是非常重要的。記錄雲況這件事，有時很容易，有時卻很困難—當天空雲量少且雲類單純時，很好記錄；若是天空雲類紊亂，且變化迅速時，就很難記錄了。因此，學習如何正確而有效率地記錄雲況，是一個成功觀雲者的重要訓練之一。

## (二).參考文獻資料

不管在國內或國外，雲和天氣預測的實證研究都不多，而卷雲和天氣變化之關聯性研究更少之又少。所以，要如何觀察雲、如何記錄雲、如何分析雲與天氣之關係...等研究方法，都是我們經過非常多次的嘗試，在不斷地修正中建立起來的；即使到研究的後期，研究成果出來了，也不容易找到可以用來支持或佐證的文獻資料。因此，尋找專家、學者的協助，就顯得十分重要了。這期間我們曾經請益過的專業人士有研究雲物理的專家、中央氣象局的資深觀察員和氣象專家，以及學術界知名的天氣學者、教授等等。他們的建議或指導讓我們獲益良多，在此一併致謝！

## (三).分析觀察資料並找出規則

學會如何正確地觀察與記錄雲況，並且在文獻資料下過工夫之後，接下來就要進入我們的研究核心了—分析雲與天氣變化之關係。雲與天氣變化有什麼關係呢？我們常在介紹雲的入門書看到「某種雲出現時，就會出現什麼樣的天氣變化」，而一般的天氣俗諺也不乏諸如此類的描述。一開始，我們把這些規則視作圭臬，可是等到我們親自做雲的研究時，才發現真實的情況並沒有像書上寫的那麼簡單。下表 1 所呈現的是我們這三年來研究方法的演變。

表 1 研究方法的演變與省思

	研究方法	對研究方法的省思
第一 個 年 度	<p><b>1.雲與天氣變化方面</b> 由於此時對雲的辨識還不是很有把握，學長姊選擇了卷雲、卷積雲、高積雲、層積雲、巨塊積雲等 5 種比較好分辨的雲來研究。再分別以十個向度來探討這些雲出現時或短時間之內天氣變化的關係。這十個向度為：(1).溫度變化、(2).濕度變化、(3).氣壓變化、(4).中、高空風向變化、(5).出現時雲量、(6).出現時主要伴隨的雲類、(7).當時的天氣、(8).3 小時後的天氣、(9).6 小時後的天氣、(10).隔日早上的天氣。</p> <p><b>2.冷鋒與天氣變化方面</b> 把冷鋒分作二個模式來分析，模式一又分作「地面鋒近中央區段通過台灣」和「地面鋒近邊緣區段通過台灣」二類，模式二又分作「單純冷鋒通過台灣」和「滯留鋒轉冷鋒通過台灣」二類。</p>	<p><b>1.雲與天氣變化方面</b> (1).雲類沒有做進一步的細分，導致預測天氣的成效不彰—例如蔽光高積雲通常是天氣即將變壞的雲，透光高積雲則是晴天的雲，而本年度卻將這二者合併起來分析。 (2).在卷雲方面，發現卷雲 ALD 法則，可以用來預測 6 小時後雲量的增加或減少，但是，符合 ALD 的實例太少，並不具有說服力。</p> <p><b>2.冷鋒與天氣變化方面</b> (1).冷鋒分類的方式不是很恰當，導致預測成效不佳。 (2).冷鋒的實例太少，又細分為四個型態，如此分析出來的結果（溫度變化、濕度變化、氣壓變化、風向變化和雲系變化）比較沒有說服力。</p>
第 二 個 年 度	<p><b>1.雲與天氣變化方面</b> (1).由於高積雲、層積雲、巨塊積雲等三種雲的預測成效不佳，所以本年度在雲與天氣的部分只探討了卷雲和卷積雲。 (2).由於原先的十個向度中，溫度變化、濕度變化、氣壓變化、中高空風向變化、出現時主要伴隨的雲類、隔日早上的天氣等六個向度預測成效不佳，所以不再繼續研究。</p> <p><b>2.冷鋒與天氣變化方面</b> (1).由於用雲系變化來預測冷鋒成效不佳，所以捨棄不用，另外找到三個預測冷鋒到來的方法（主要由高雲族與高積雲的搭配來預測冷鋒）。 (2).發現冷鋒來臨前幾天（5 天之內）層狀高積雲出現的次數和冷鋒來臨前後的溫度差，似乎有密切的相關性。</p>	<p><b>1.雲與天氣變化方面</b> (1).在卷雲方面，將 ALD 法則修正為 AL 法則，如此就可以用來預測 6 小時後雲量的增加。但是只有預測雲量增加 3 以上的成效較佳（94%），雲量增加 4 以上的預測機率才 81%。檢討原因：主要是把所有卷雲符合雲量<math>\geq 1</math>、長度<math>\geq 1</math>的雲況都混在一起分析，所以預測成效不如預期。 (2).在卷積雲方面，都沒有找到理想的規則，只發現卷積雲出現後 3 小時或 6 小時，雲量都會增加，但是這樣的成果價值性並不高。</p> <p><b>2.冷鋒與天氣變化方面</b> 本年度冷鋒與天氣變化方面，雖然發現溫度變化與層狀高積雲有密切關係，但是如何由雲的變化來預測冷鋒仍不十分理想。最主要的原因應該是：學長姊把所有的冷鋒都混在一起分析，沒有先妥善加以分類。</p>
第 三 個 年 度	<p><b>1.雲與天氣變化方面</b> (1).經過前面二個年度的研究，最後確定卷雲對短期天氣預測的成效最為良好，所以本年度就把研究重心放在卷雲上面。第二個年度發現卷雲 AL 法則可以用來預測一般雲量的變化，但是若要預測劇烈的雲量變化(或降雨)，似乎還行不通。經過我們反覆推敲，發現若把 AL 界定為基本門檻，再搭配其他條件，那麼預測成效就明顯好很多：在雲量變化方面，我們發現把總雲量和 AL 搭配(AL-4 法則)，或者拿濃積雲和 AL 搭配(AL-Ccon 和 AL-FC 法則)，都可以用來預測劇烈的雲量變化，尤其，AL-FC 法則更可以用來預測降雨，是我們這次最重要的研究成果之一。 (2).我們這次有找到幾個不錯的天氣網站和資料庫，而且也學會了運用 Skew-T 圖來分析垂直大氣的現況，因此，才能夠對觀測資料做精密而完整的分析。</p> <p><b>2.冷鋒與天氣變化方面</b> 「雲與冷鋒的預測」是學長、姊的研究中最弱的一環。問題的癥結點應該是出在不知道如何將冷鋒做合理的分類。我們一開始也嘗試過許多分類的方法，都沒有成功。最後之所以能找到規則，最關鍵的一點就是把「台灣低壓」和「來自大陸的冷鋒」這二者分開來分析。在「台灣低壓」方面再以 Skew-T 圖上的強穩定層來分析，而「來自大陸的冷鋒」方面，則以鋒面來臨前三天主要出現的雲類來分析。就是這樣的分析方法，我們才能找出還不錯的規則。</p>	

## 伍、研究結果與討論

底下根據我們的三個研究目的，依序呈現我們的研究結果，並對某些特殊的情況作深入的探討。

### 一、卷雲與總雲量變化之相關探討

卷雲屬於高雲族，通常出現在 6000 公尺以上的高空(有時也會超過 10000 公尺)。它的外觀十分特殊，大多呈現絲縷狀結構(圖 5、圖 6)，因此在辨識上並不困難。卷雲的厚度通常不怎麼厚(除非是密卷雲)，加上它主要是由冰晶所構成的，所以看起來相當潔白、明亮。

圖 5 纖維狀卷雲



圖 6 密卷雲



雖然卷雲經常出現於晴空中，但是它也常是天氣即將變壞的前兆。例如在溫帶地區冷暖氣團的交互作用中，我們現在可以用簡單的雲系變化來預測接下來的天氣變化，而拉開這重要演變機制序幕的就是卷雲—卷雲出現不久後，接著就開始「變天」了。事實上，這成功的預測模式是由挪威一群優秀的氣象學家所提出來的。

在國內，關於卷雲和天氣變化的實證研究非常少，目前我們只找到一篇一卷雲雲型及其在劇烈天氣與預報之應用(紀水上, 2014)。紀水上的這篇論文透過個案分析，描述如何從衛星雲圖研析卷雲雲型的特徵、探討這些特徵與高空氣流的關係，並將這些關係應用於劇烈天氣系統之演變及移動過程。另外，還有像「利用光達衛星 CALIPSO 研究高空卷雲分佈(呂建穎, 2013)」、「偏振雷達對卷雲的量測(江智偉, 1999)」、「雷射雷達對卷雲微物理性質之研究(林仲懿, 1997)」等三篇論文，在探討卷雲的分佈和性質，和我們的研究比較沒有直接的相關性。

### 【結果】

可以預測天氣的雲那麼多，為什麼要把重點放在卷雲？這在表 1 研究方法的演變與省思中已有說明過—卷雲在所有雲類中預測天氣的成效最為良好。經過學長、姊二年的播種與耕耘，

再加上我們今年的努力，關於卷雲與天氣預測這方面，終於有所突破，獲得不錯的研究成果。

表 2 符合  $A_iL_i$  門檻之觀察記錄(簡表)

編號	雲況 日期	卷雲 雲量	卷雲 長度	出現時 總雲量	3 小時後 總雲量	6 小時後 總雲量	補充說明
1	2013/03/27	4.0	$>L_0$	5.0	8.8	9.9	1000 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
2	2013/05/14	1.1	$>L_0$	2.9	7.3	8.8	1000 $A_iL_i$ 成立
3	2013/05/26	1.5	$>L_0$	2.1	--	5.1	0900 $A_iL_i$ 成立
4	2013/05/27	3.8	$>L_0$	4.2	--	9.0	0900 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
5	2013/05/30	1.9	$>L_0$	6.1	7.5	10.0	1200 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
6	2013/06/02	1.1	$>L_0$	1.1	$>1.7$	$>3$	$A_iL_i$ 取 0900
7	2013/06/07	3.5	$>L_0$	6.4	4.7	7.1	1200 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
8	2013/06/11	4.5	$>L_0$	5.6	6.8	10.0	0900 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
9	2013/06/16	1.1	$>L_0$	7.0	10.0	10.0	1200 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 也成立
10	2013/07/02	2	$>L_0$	3.1	5.0	9.0	0900 $A_iL_i$ 成立
11	2013/07/04	2.4	$>L_0$	3.8	6.9	10.0	0900 $A_iL_i$ 成立
12	2013/07/05	1.4	$>L_0$	2.3	3.7	10.0	0900 $A_iL_i$ 成立
13	2013/07/06	$>4.1$	$>L_0$	$>4.5$	$>2.8$	9.0	0900 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
14	2013/07/07	1.4	$>L_0$	6.2	--	10.0	1200 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
15	2013/07/08	2	$>L_0$	3	5.5	9.0	$A_iL_i$ 取 1000，那時 AL-4 也成立
16	2013/07/15	1.5	$>L_0$	2.6	6.7	10.0	0900 $A_iL_i$ 成立，1200 AL-4 成立。
17	2014/05/12	1~2	$\cong L_0$	5.0	9.5	10.0	1100 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
18	2014/06/16	2~3	$>L_0$	5~6	10.0	10.0	0800 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
19	2014/06/18	2.1	$>L_0$	5.5	9.3	10.0	0830 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
20	2014/06/19	1.2	$>L_0$	5.5	6.0	10	0900 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
21	2014/06/21	1.1	$>L_0$	1.8	6.7	10	0900 $A_iL_i$ 成立
22	2014/06/23	2~3	$>L_0$	4~5	9.6	10	0800 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
23	2014/06/27	1~2	$>L_0$	2.7	8.0	8.7	0800 $A_iL_i$ 成立
24	2014/06/30	2~3	$>L_0$	4~5	7.5	10.0	$A_iL_i$ 成立取 0900，那時 AL-4 也成立。
25	2014/07/01	1~2	$>L_0$	2.7	5.7	9.0	0900 $A_iL_i$ 成立
26	2016/11/25	3	$>L_0$	4	5	9.0	0900 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
27	2016/12/02	2	$>L_0$	5.5	6.5	9.5	1120 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
28	2016/12/05	3	$>L_0$	6	10	9.0	1220 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
29	2016/12/09	1.5	$>L_0$	4.5	0	0	1000 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
30	2016/12/27	2.5	$>L_0$	5	10	10	1100 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
31	2017/02/21	3	$>L_0$	3	6	10	1200 $A_iL_i$ 成立
32	2017/04/18	2	$>L_0$	6	9	10	0800 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
33	2017/05/10	2	$>L_0$	2	7.6	8.0	0830 $A_iL_i$ 成立
34	2017/05/18	4.5	$>L_0$	7.5	8	10	1000 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
35	2017/06/06	2.5	$>L_0$	3	4	9.0	0900 $A_iL_i$ 成立

註 2：我們將天空劃分為 5 個觀察區，仰角  $45^\circ$  角以上之大圈為「主中」， $45^\circ$  角以下則均分為 4 個「象限」。

如表 2 所示，關於卷雲和雲量變化之觀察，我們發現若要對天氣有較明確的預測成效，卷雲的雲況必須通過一個基本的門檻—卷雲雲量(A)≥1，且卷雲長度(L)≥L<sub>0</sub> (L<sub>0</sub> 表示一個象限橫幅的長度)；我們把這門檻叫作「卷雲 A<sub>1</sub>L<sub>1</sub> 門檻」。卷雲若能通過 A<sub>1</sub>L<sub>1</sub> 門檻，再加上一些條件，就能有效地預測天氣。我們經過反覆分析探討後，得出二個重要的規則：其中一個是 A<sub>1</sub>L<sub>1</sub> 門檻搭配總雲量，我們把它叫作「AL-4 法則」；另一個則要搭配濃積雲的發展，我們把它叫作「AL-Ccon 法則」(Ccon 為濃積雲 Cumulus Congestus 的縮寫)。今敘述如下：

**1.AL-4 法則：當卷雲雲況通過 A<sub>1</sub>L<sub>1</sub> 門檻(且沒有發生 Ci-Cc 爆量抑制效應)，若當時天空的總雲量≥4 時，則 6 小時後，大多會轉變為陰天(總雲量≥9)，預測成功機率為 96%。**

有效觀測有 23 次(其中只 2013/6/7 這一次例外)：2013/3/27、2013/5/27、2013/5/30、2013/6/7、2013/6/11、2013/6/16、2013/7/2、2013/7/4、2013/7/6、2013/7/7、2013/7/8、2013/7/15、2014/5/12、2014/6/16、2014/6/18、2014/6/19、2014/6/23、2016/11/25、2016/12/2、2016/12/5、2016/12/27、2017/4/18、2017/5/18。

什麼叫作「Ci-Cc 爆量抑制效應」？在這裡有必要解釋一下。當天空出現極大量(爆量)的卷雲或卷積雲時，若當時中、低雲族非常少，則接下來一天之內雲量的發展將受到抑制(表 3)。我們把這個現象叫作「CiCc 爆量-抑制效應」(Burst-Inhibit Effect of Ci or Cc, 簡稱 BIECC)。像 2016/12/9 這一天，雖然卷雲符合 A<sub>1</sub>L<sub>1</sub> 門檻，且當時總雲量≥4，但是受到 BIECC 的影響，接下來的雲量不只沒有變多，反而是直接歸零。

表 3 CiCc 爆量-抑制效應

日期	爆量雲類(出現時間)	總雲量變化
2012/12/29	卷積雲 1.6(1500)	大於 4→大於 2.6→夜晚，無法觀測
2016/12/01	卷積雲 1.3(1010)	7→大於 0.6(1100)→小於 1→小於 1
2016/12/09	卷積雲>1(0910)	大於 4→2→0→0
2017/03/23	卷雲 5	下午 1800 出現大量卷雲，結果，隔天一整天都是晴天。

註 3：依據我們的經驗，關於高雲族爆量-抑制效應，必須符合下列的條件之一：(1)同一時間內，卷雲雲量≥3；(2)同一時間內，卷積雲雲量≥1。

註 4：根據研究，密卷雲和波狀卷積雲都是容易導致下雨的雲，所以不列入 BIECC 效應之中。

由圖 7 的 Skew-T 圖我們可以發現 Ci-Cc 爆量抑制效應發生的這四天都有一個重要的特點，就是中、低空都有一個十分乾燥的「乾區」—就是這個乾區讓中、低空的雲發展不起來。

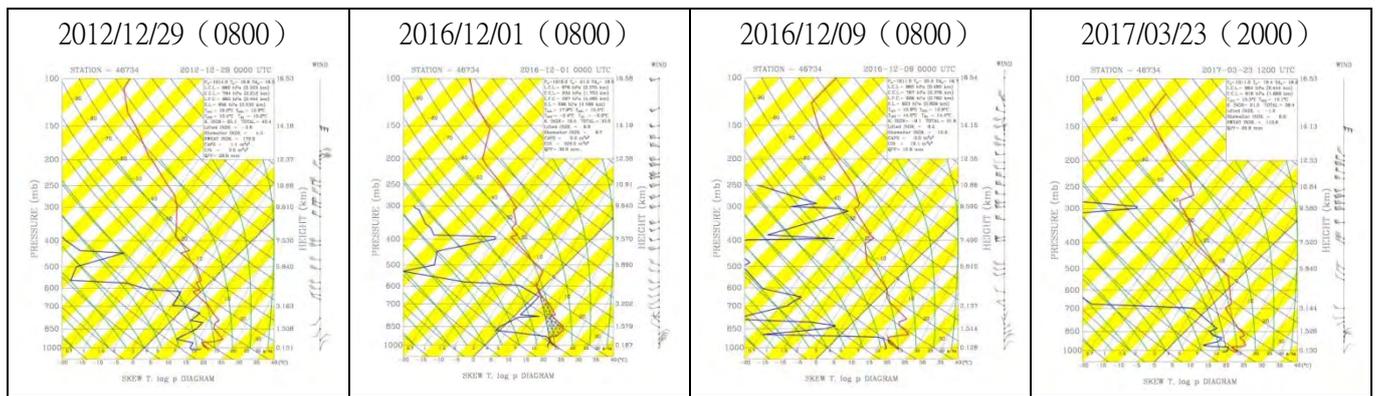


圖 7 雲況符合 BIECC 當天的 Skew-T 圖



圖 8 雲況符合 BIECC--當天的雲系變化 (以 2016/12/09 為例)

〔討論 1〕為什麼 2013/6/7 這一次例外？這一天到底發生了什麼事？

我們認為最主要的原因應該是受到滯留鋒面的影響——那天在台灣北方附近有一個滯留鋒面，此鋒面的右端有一低壓中心，從動態的衛星雲圖中，我們發現這低壓中心在通過台灣北部海面時把雲都牽曳了過去。

2.AL-Ccon 法則：當卷雲雲況通過  $A_1L_1$  門檻時，若 3 小時之內有伴隨濃積雲的發展，不管卷雲出現時天空總雲量多少，6 小時後天氣都會轉變為陰天(總雲量 $\geq 9$ )，有效預測機率為 100%。有效觀測有 22 次：2013/5/14、2013/5/30、2013/6/16、2013/7/2、2013/7/4、2013/7/5、2013/7/6、2013/7/7、2013/7/8、2013/7/15、2014/5/12、2014/6/18、2014/6/19、2014/6/21、2014/6/23、2014/6/27、2014/6/30、2014/7/1、2016/11/25、2016/12/2、2016/12/5、2017/6/6。

〔討論 2〕在 AL-Ccon 法則中，雲量發展成陰天一定要搭配卷雲  $A_1L_1$  嗎？光是濃積雲本身不是也可以發展到陰天？

針對這一點，我們做了一個簡單的統計(分析一百多個濃積雲案例)：若早上有濃積雲，且卷雲雲況沒有通過  $A_1L_1$  門檻時，則 6 小時之後雲況轉變為陰天的機率只有 33%。可見得濃積雲一定要和  $A_1L_1$  門檻搭配，雲況才容易發展為陰天。

## 二、卷雲與下雨預測之相關探討

若天上烏雲密布，任何人都知道再過不久就要下雨了；但是，若是早上天氣十分晴朗，有誰敢斷言下午一定會下雨呢？在夏、秋二季，午後熱對流這種尺度不大且發展迅速的天氣系統，本來就不易預測；加上埔里地區屬於盆地地形，東邊亦有高大的中央山脈形成屏障，天氣系統相當獨特，使得降雨預測更加困難。有鑑於中央氣象局對於本地區夏、秋季午後降雨的預測時常失準，因此我們在這方面投入了許多心力，也有所斬獲，希望研究成果對鄉親朋友能有所助益。

### 【結果】

前面有提到卷雲對於總雲量變化的預測成效良好，那麼卷雲是否也可以用來預測下雨呢？下表 4 是我們這幾年藉由「卷雲-濃積雲」系統，成功預測下雨的觀察記錄簡表。

表 4 符合 AL-FC 法則之觀察記錄（簡表）

說明 日期	成立 時間	埔里地區 降雨情形 (累積雨量)	主要降雨區降雨情形
2013/5/30	1200	1730 下雨 局部下雨	(1).主要降雨區：大鞍 47.5mm，鳳凰 47mm；(2).兩地當天累積雨量平均：47mm；(3).最大時雨量平均：39.5mm。
2013/06/16	1200	1800 下雨 (33.5mm)	(1).主要降雨區：中心崙 59.0mm，外大坪 31.5mm；(2).兩地當天累積雨量平均：45.3mm；(3).最大時雨量平均：16.3mm。
2013/07/02	1500	1630 下雨 (19.5mm)	(1).主要降雨區：阿眉 90.0mm，中心崙 77.5mm；(2).兩地當天累積雨量平均：83.8mm；(3).最大時雨量平均：42.5mm。
2013/07/04	1200	1500 下雨 (0.5mm)	(1).主要降雨區：中心崙 55.5mm，竹山 26.5mm；(2).兩地當天累積雨量平均：41mm；(3).最大時雨量平均：34.3mm。
2013/07/05	0900	1517 下雨 (99.0mm)	(1).主要降雨區：青雲 132mm，日月潭 115.5mm，九份二山 108.5mm；(2).三地當天累積雨量平均：118.7mm；(3).最大時雨量平均：75.5mm。
2013/07/06	1200	1540 下雨 (<0.5mm)	(1).主要降雨區：樟湖 53.5mm，鳳凰 48.0mm；(2).兩地當天累積雨量平均：50.8mm；(3).最大時雨量平均：28.3mm。
2013/07/07	1200	1700 下雨 (29.5mm)	(1).主要降雨區：中心崙 95.0mm，雙冬 75.5mm；(2).兩地當天累積雨量平均：85.3mm；(3).最大時雨量平均：67.8mm。
2013/07/08	1200	1700 下雨 (19.0mm)	(1).主要降雨區：北坑 47mm，竹山 46mm；(2).兩地當天累積雨量平均：46.5mm；(3).最大時雨量平均：35.5mm。
2013/07/15	1200	1700 下雨 (74.0mm)	(1).主要降雨區：桐林 190.5mm，六分寮 152.5mm；(2).兩地當天累積雨量平均：171.5mm；(3).最大時雨量平均：75.8mm。
2014/05/12	1100	1630 下雨 (35.0mm)	(1).主要降雨區：水里 84.5mm，日月潭 80.5mm；(2).兩地當天累積雨量平均：82.5mm；(3).最大時雨量平均：43.3mm。
2014/6/18	0830	1410 下雨 (14.5mm)	(1).主要降雨區：合歡山 37.5mm，武界 33.0mm；(2).兩地當天累積雨量平均：35.3mm；(3).最大時雨量平均：14.3mm。
2014/06/19	1000	1610 下雨 (2.0mm)	(1).主要降雨區：白毛台 15.0mm，九份二山 9.0mm；(2).兩地當天累積雨量平均：12.0mm；(3).最大時雨量平均：8.8mm。

日期	成立	埔里降雨	主要降雨區降雨情形
2014/06/23	0800	1340 下雨 (28.5mm)	(1).主要降雨區：阿眉 83.0mm，鯉潭 77.0mm；(2).兩地當天累積雨量平均：80.0mm；(3).最大時雨量平均：44.5mm。
2014/06/30	0900	1430 下雨 (8.5mm)	(1).主要降雨區：草屯；(2).當天累積雨量：41.5mm；(3).最大時雨量：22.0mm。 註：其他主降雨區凌晨時都有降雨，故不採用。
2014/07/01	0900	1530 下雨 (12.5mm)	(1).主要降雨區：青雲 51.0mm，雙冬 44.0mm；(2).當天累積雨量平均：47.5mm；(3).最大時雨量平均：26.8mm。
2017/06/06	1020	1530 下雨 局部下雨	(1).主要降雨區：中心崙 41.5mm，蘆竹滴 28.0mm；(2).兩地當天累積雨量平均：34.8mm；(3).最大時雨量平均：30.0mm。

註 5：大鞍、鳳凰、中心崙、外大坪、阿眉...等主要降雨區位置，均為中央氣象局的測站據點（圖 13）。

註 6：氣象局對「大雨」和「豪雨」之定義如下：大雨，指 24 小時累積雨量達 80mm 以上，或時雨量達 40mm 以上之降雨現象；豪雨，指 24 小時累積雨量達 200mm 以上，或 3 小時累積雨量達 100mm 以上之降雨現象。

註 7：2013/5/30 和 2017/06/06 這二天，埔里測站的降雨記錄均為 0，但是在觀測點都有下雨（雨勢中等，但下不久）！可能是這二天的下雨太過於局部的緣故（埔里測站距離我們的觀測點約 3 公里）。

註 8：只憑目測能看到多遠的雲？我們曾經估算過，約 40km；這就是為什麼我們會限定主要降雨區與觀測點的距離不得超過 40km 的緣故。

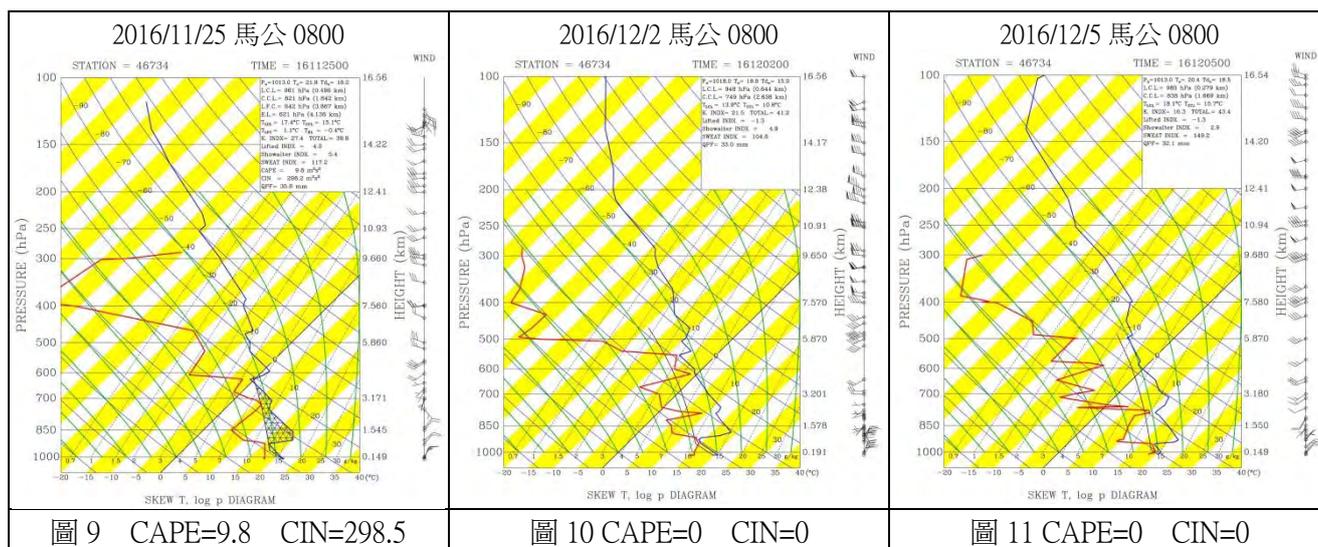
我們發現：當卷雲出現時，若符合  $A_iL_i$  門檻、且同時有濃積雲發展（上層沒有「強穩定層」阻擋它往上發展的趨勢），則埔里地區在 8 小時之內都會下雨，預測成功機率達 100%。我們把這個規則叫作「AL-FC 法則」（A 表示卷雲雲量，L 表示卷雲的長度；FC 是自由對流「Free Convection」的意思）。

在此有必要先對「強穩定層」做個解釋。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 9：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：溼絕熱直減率>環境直減率。(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。

我們發現即使當天的雲況符合  $A_iL_i$  門檻，而且同時有濃積雲的發展，但是也不見得保證會下雨！原因就出在，濃積雲向上發展的趨勢被強穩定層阻擋下來了。我們現在舉個實例來說明：2016/11/25、2016/12/2 和 2016/12/5 這三天的雲況都符合  $A_iL_i$  門檻，而且同時有濃積雲的發展，可是到最後都沒有下雨！為什麼？我們由 2016/11/25 這一天的 Skew-T 圖(圖 9)可以看出，600hPa 附近有一個逆溫層，導致濃積雲不易往上發展（當天有許多層狀高積雲把濃積雲籠罩住），而且 6000~9000 公尺之間非常乾燥，在這二種不利的條件下，就不容易下雨。2016/12/2 這一天，由圖 10 的 Skew-T 圖可以看出，600hPa 和 500hPa 之間有一逆溫層，而且在 500hPa 和 400hPa 附近各有一個穩定大氣層，所以濃積雲不容易往上發展（當天有許多層狀高積雲把

濃積雲籠罩住)，加上 6000 公尺以上大氣非常乾燥，所以不太容易下雨。2016/12/5 這一天，由圖 11 可以看出，500hPa 和 400hPa 之間有一強穩定層，濃積雲向上發展的趨勢受到阻礙（事實上，當天在濃積雲上方也籠罩了層狀高積雲），加上 6000 公尺以上的大氣十分乾燥，所以不容易下雨。其實，這三天的 CAPE(註 10)都非常小，本來就不利於雲的對流發展。由這個討論我們可以知道，當卷雲達  $A_{Li}$  門檻，且同時有濃積雲發展時，若天空有大量的層狀高積雲（這在冬天很常見），則大多不會下雨，原因就是濃積雲被「蓋火鍋」，無法往上發展。



註 10：對流可用位能（Convective Available Potential Energy，簡稱為 CAPE）為評估垂直大氣是否穩定、對流是否容易發展的指標之一。CAPE 愈大表示大氣愈不穩定，但並不表示對流強度一定比較強，仍需要其他因素的配合。

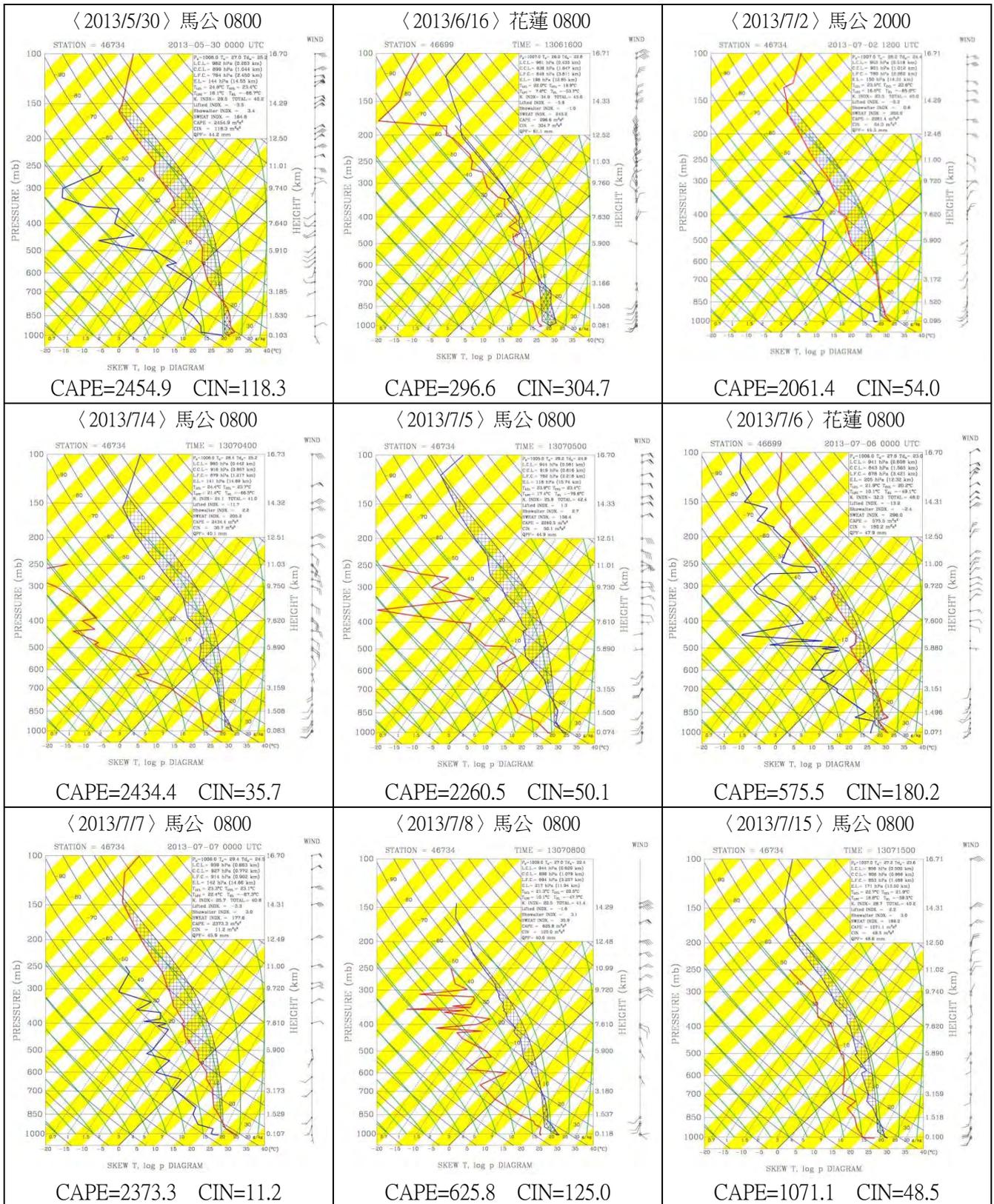
雖然 AL-FC 可以用來預測降雨，可是卻無法用它來預測雨量的大小。我們曾嘗試把 AL-FC 和 Skew-T 圖（圖 12）搭配，結果對埔里地區降雨大小的預測也都不甚理想。難道就沒有辦法了嗎？後來，我們發現：AL-FC 成立的當天，雖然埔里都會下雨，但是雨量最多的地點通常不是埔里，而是在埔里附近的地區——我們把降雨量最多的前幾名叫作「**主要降雨區**」。

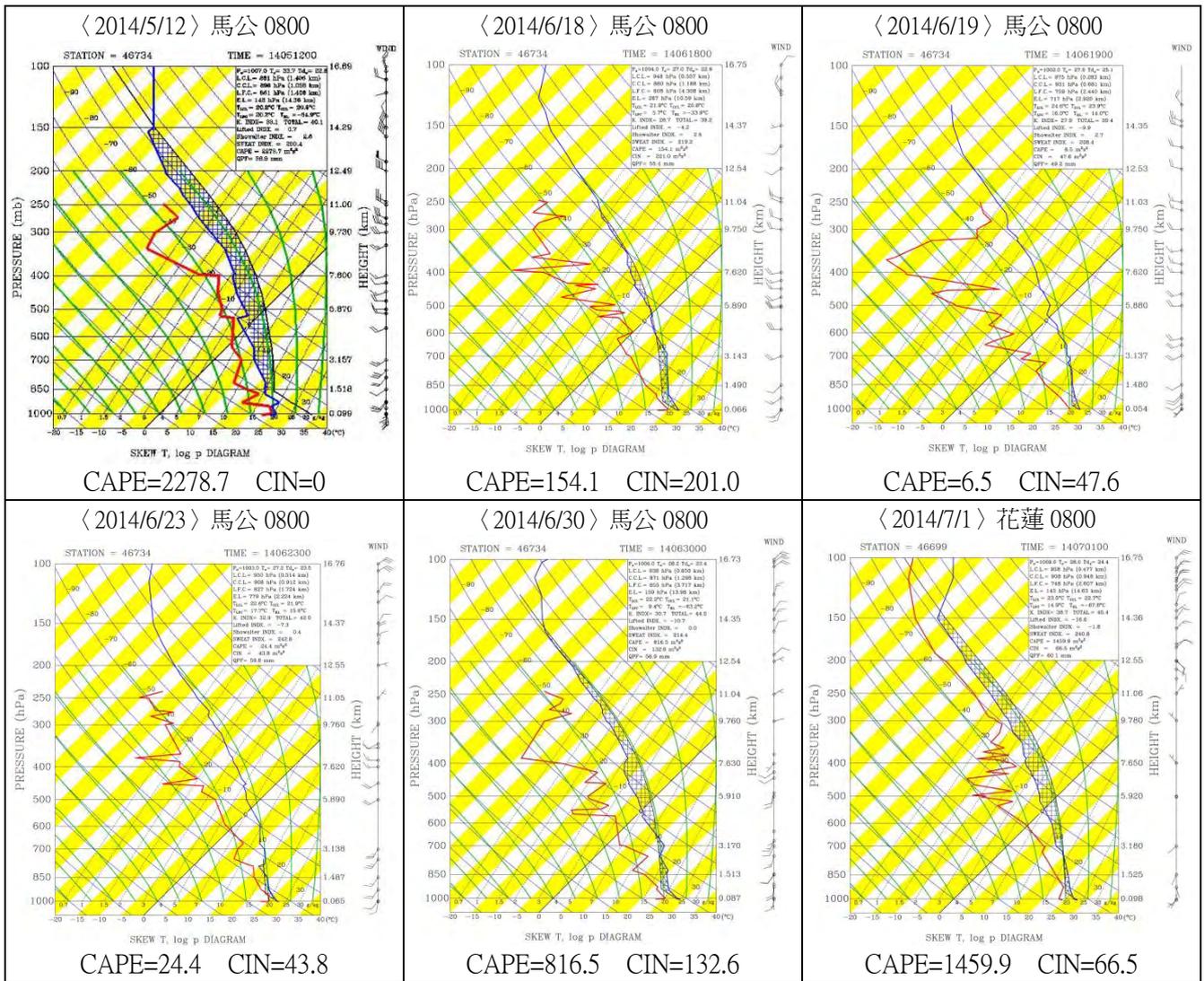
接著，我們又進一步發現「主降雨區的雨量大小似乎和探空圖上的 CAPE 有密切的關係」。由表 4 的觀察記錄和圖 12 的 Skew-T 圖得知：在 AL-FC 成立的前提下，主降雨區雨量的大小可以依照 CAPE 的大小分作三個層次：(1).CAPE>2000：當天大都會降下「大雨」等級的雨量，有時會降下「豪雨」；(2).600<CAPE<2000：當天的累積雨量大多在 40mm 至「大雨」之間；(3).CAPE<200：當天的累積雨量和時雨量通常都不會太大。

註 11.為了使主要降雨區的降雨大小，能夠盡量符合當時上方大氣的狀況，我們在選取主要降雨區時採用一個比較嚴格的標準：(1).以降雨量前三名的地點為主。(2).所取的測站彼此之間最好不要太近：例如 2013/7/7 降雨量的前二名為中心崙和竹山，但是二者相距不遠，所以只取其一，另一個則取第三名的雙冬。(3).若某測站出現極端降雨情況，且雨量遠大於附近的測站，則不予採用：例如 2013/7/2 蘆竹瀆、2013/7/8 西巒、2014/6/30 埔中、2017/6/6 樟湖，都屬於這種情況，因此都不採用。

註 12.因為埔里地區沒有探空站，所以我們必須很慎重地從板橋、花蓮和馬公三者選出最適合埔里的探空資料。我們選取的原則如下：(1).原則上，因為 3000 公尺以下容易受到地表特性和地形的影響，故不列入我們的分析資料；(2).雖然花蓮測站距離埔里最近，是我們的優先選擇，不過，我們最後還是會由風向來決定——看看風向把哪個探空氣球吹往埔里，就以那一個探空站為主。

圖 12 雲況符合 AL-FC 法則當天的 Skew-T 圖 (探空資料取花蓮或馬公)





但是，我們對這樣的分析仍不十分滿意，因為有幾個問題還是沒有辦法解釋：(1).時雨量的大小還找不到明顯的規則！(2).同樣是降下「豪雨」，可是有的  $CAPE > 2000$ ，有的  $CAPE$  卻只有 1000 左右？(3).雖然  $CAPE < 200$  時，雨量多半不大，可是 2014/6/23 這一天卻降下「大雨」！...因此，我們決定再往下深入探究。後來，我們發現若能把「風切(wind shear)」、「中、高空水汽含量」(由 Skew-T 圖上的 T 和 Td 差值來判斷，也可以由水汽頻道來判斷) 和「有無其他系統介入」等三個向度考慮進來，就可以解決大部分的問題了。



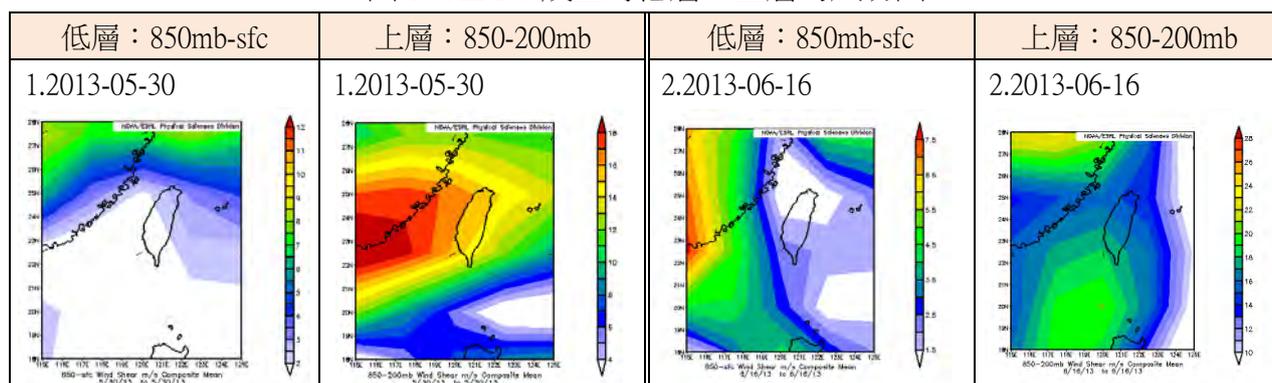
圖 13 埔里周圍 50km 內的雨量測站

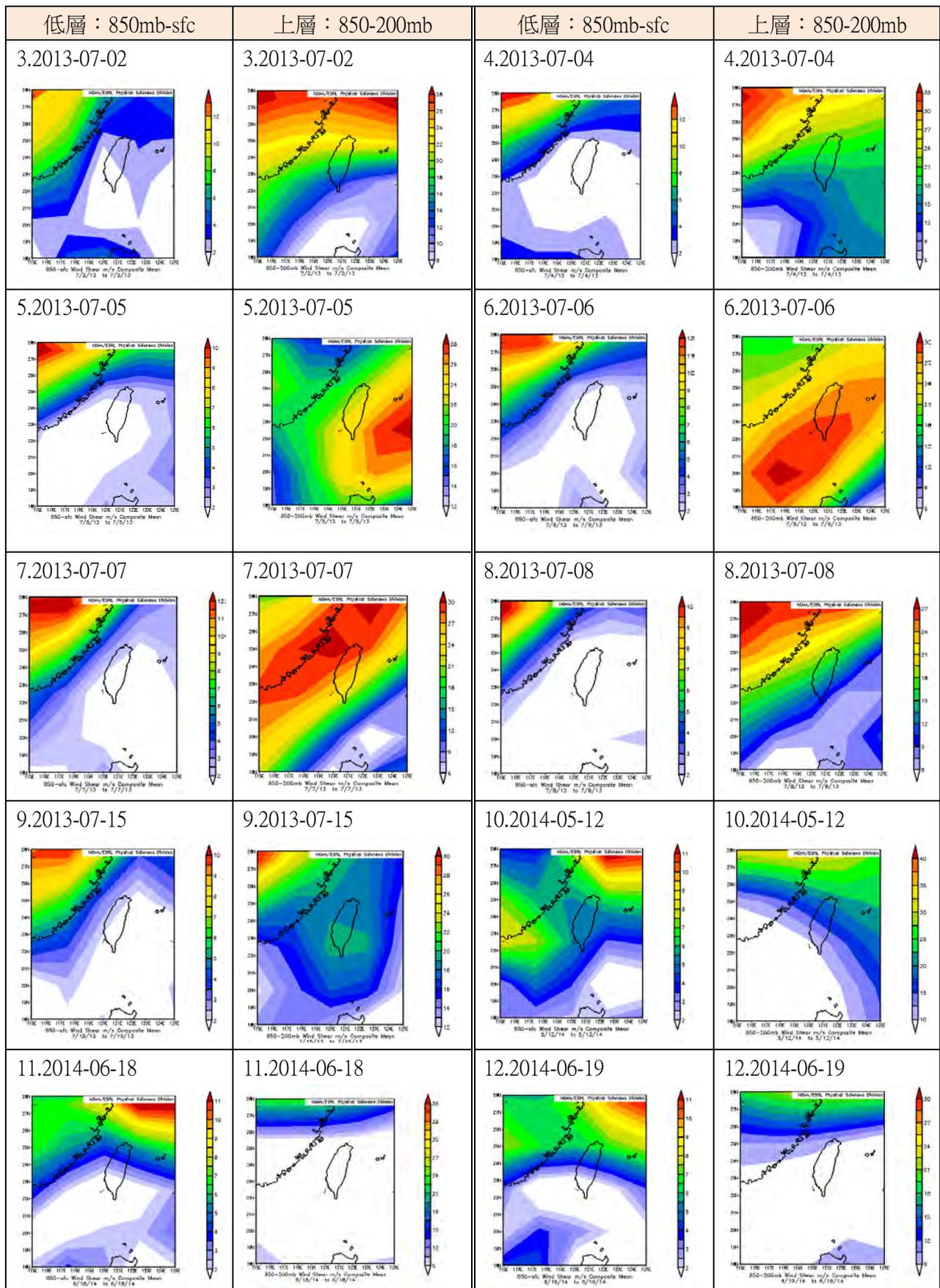
表 5 AL-FC+CAPE+Wind Shear 分析表

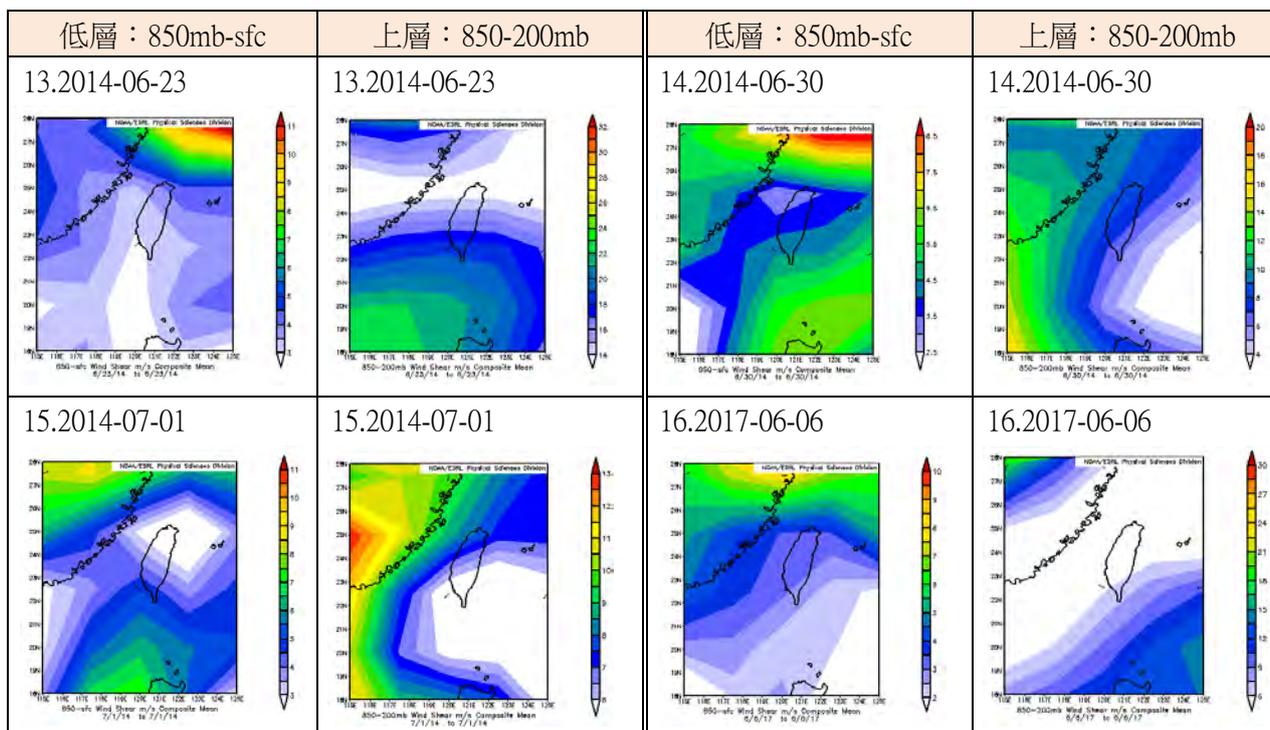
AL-FC 成立時間	CAPE 大小	垂直大氣風切情形	中、高空水汽含量	其他系統介入影響	主降雨區降雨情形
2013/05/30 (1200)	2454.9	上層風切 15， 低層風切<2。	中、高層濕度中下	不明顯	(1).累積雨量平均：47.0mm；(2).最大時雨量平均：40.0mm(大雨)。
2013/07/02 (1500)	2061.4	上層風切 19， 低層風切 2。	中、高層濕度中等	不明顯	(1).累積雨量平均：83.8mm；(2).最大時雨量平均：42.5mm。
2013/07/04 (1200)	2434.4	上層風切 21， 低層風切 0	中、高層十分乾燥	不明顯	(1).累積雨量平均：41.0mm；(2).最大時雨量平均：34.3mm。
2013/07/05 (0900)	2260.5	上層風切 24， 低層風切 0。	中、高層濕度中等	不明顯	(1).累積雨量平均：118.7mm(豪雨)；(2).最大時雨量平均：75.5mm。
2013/07/07 (1200)	2373.3	上層風切 27， 低層風切 0。	中、高層濕度中上	不明顯	(1).累積雨量平均：85.3mm；(2).最大時雨量平均：67.8mm。
2014/05/12 (1100)	2278.7	上層風切 15， 低層風切 5。	中、高層濕度稍大	不明顯	(1).累積雨量平均：82.5mm；(2).最大時雨量平均：43.3mm。
2013/07/08 (1200)	625.8	上層風切 17， 低層風切 0。	中、高層濕度中等	不明顯	(1).累積雨量平均：46.5mm；(2).最大時雨量平均：35.5mm。
2013/07/15 (1200)	1071.1	上層風切 18， 低層風切 0。	中、高層濕度稍大	不明顯	(1).累積雨量平均：171.5mm(豪雨)；(2).最大時雨量平均：75.8mm。
2014/06/30 (0900)	816.5	上層風切 7， 低層風切 3.5。	中、高層濕度中等	不明顯	(1).當天累積雨量：41.5mm；(2).最大時雨量：22.0mm。
2014/07/01 (0900)	1459.9	上層風切 6， 低層風切 3。	中、高層濕度中上	不明顯	(1).累積雨量平均：47.5mm；(2).最大時雨量平均：26.8mm。
2013/07/06 (1200)	575.5	上層風切 27， 低層風切 0。	中、高層濕度中等	不明顯	(1).累積雨量平均：50.8mm；(2).最大時雨量平均：28.3mm。
2013/06/16 (1200)	296.6	上層風切 15， 低層風切<1.5。	中、高層濕度很大	在附近有冷心低壓	(1).累積雨量平均：45.3mm；(3).最大時雨量平均：16.3mm。
2014/06/18 (0830)	154.1	上層風切 0， 低層風切 3。	中、高層濕度中等	不明顯	(1).累積雨量平均：35.3mm；(2).最大時雨量平均：14.3mm。
2014/06/19 (1000)	6.5	上層風切 0， 低層風切 3.5。	中、高層濕度稍低	不明顯	(1).累積雨量平均：12.0mm；(2).最大時雨量平均：8.8mm。
2014/06/23 (0800)	24.4	上層風切 15， 低層風切 3。	中、高層濕度中等	有滯留鋒接近台灣	(1).累積雨量平均：80.0mm；(2).最大時雨量平均：44.5mm。
2017/06/06 (1020)	25.7	上層風切 0， 低層風切 3。	中、高層濕度稍低	不明顯	(1).累積雨量平均：34.8mm；(2).最大時雨量平均：30.0mm。

註 13：1mb=1hPa；就台灣而言，850mb 的高度約 1500 公尺，200mb 的高度約 12000 公尺。

圖 14 AL-FC 成立時低層、上層的風切圖







註 14：資料來源：<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>

當 AL-FC 成立時，關於主要降雨區雨量大小的預測，我們由表 5 和圖 14 的分析，發現三個規則。底下我們就依據這些規則來解釋 P.14 所提出來的問題：

(1).我們把表 5 的部分資料重新整理成表 6，從表 6 可以很清楚地看出「若在其他條件大致相同的情況下，1500-12000m 的風切愈大，愈容易出現較大的時雨量」。

表 6 上層垂直風切和主降雨區時雨量之關係

日期	風切	時雨量	CAPE	濕度	日期	風切	時雨量	CAPE	濕度
2013/7/5	24	75.5mm	2260.5	中等	2013/7/7	27	67.8 mm	2373.3	中上
2013/7/2	19	42.5 mm	2061.4	中等	2014/5/12	15	43.3 mm	2278.7	稍大
2013/7/8	17	35.5 mm	625.8	中等	2013/7/15	18	75.8 mm	1071.1	稍大
2014/6/30	7	22.0 mm	816.5	中等	2014/7/1	6	26.8 mm	1459.9	中上

(2).我們把表 5 的部分資料重新整理成表 7，從表 7 可以很清楚地看出「若在其他條件大致相同的情況下，大氣層的溼度對累積雨量有相當大的影響」。

表 7 中、高層大氣濕度與主降雨區累積雨量之關係

日期	濕度	累積雨量	風切	CAPE	日期	濕度	累積雨量	風切	CAPE
2013/7/5	中等	118.7mm	24	2260.5	2013/7/15	稍大	171.5mm	18	1071.1
2013/7/7	中上	85.3 mm	27	2373.3	2013/7/4	乾燥	41.0 mm	21	2434.4
2013/7/4	乾燥	41.0 mm	21	2434.4	2013/7/8	中等	46.5 mm	17	625.8

由以上二個規則我們就可以比較容易地回答：為何 2013/7/5 和 2013/7/15 這二天都降下了豪雨？雖然這二天的 CAPE 大小相差 1000 以上，可是，這二天有一個共同的特質，就是 1500-12000m 的上層風切很大，而且大氣水汽量含量並不低。

(3).我們由表 5 可以很清楚地看出「CAPE 小於 200 時，1500-12000m 的風切大多是 0。」不過，2014/6/23 這一天的 CAPE 也小於 200，可是上層風切卻是 15！怎麼解釋？由地面天氣圖可以發現，這一天在台灣附近有一道滯留鋒面，我們推測可能是這個鋒面把規則性破壞了。接著，我們來解釋 CAPE 小卻降下大雨方面：2014/6/23 這一天的 CAPE 才 24.4，可是雨量卻不小！就如上面所講的，這一天在台灣附近有一道滯留鋒面，此鋒面在接近台灣時，帶來了充沛的水汽。所以，2014/6/23 這一天的降雨量才會比預期的大很多。

**【小結論】** 在 AL-FC 成立時，可以用下表的方法更精確地預測主降雨區雨量的大小：

降雨等級 (累積雨量)	條件			補充說明
	CAPE	上層風切	中、高空水汽含量	
豪雨	>1000	大	高	實例：2013/7/5、2013/7/15
大雨	>2000	不能太小	不能太低	實例：2013/5/30、2013/7/2、2013/7/5、2013/7/7、2014/5/12
<40mm	<200	無其他外來水汽		實例：2014/6/18、2014/6/19、2017/6/6

〔討論 3〕垂直風切和降雨的關係這麼密切，是否有現行的理論可以用來支持你們的研究？

關於垂直風切對積雨雲的發展與降雨方面，確實有不少人做過類似的研究或探討，就我們目前所閱讀過的文獻資料中，以

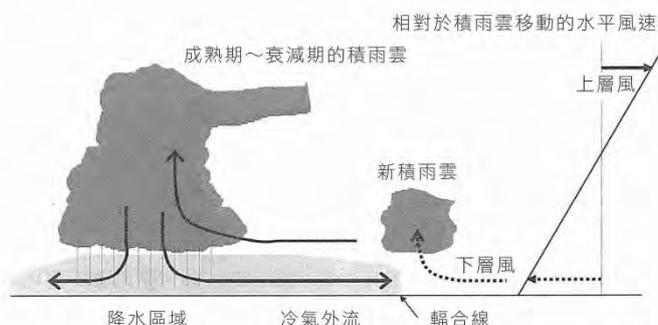


圖15 垂直風切與新積雨雲發展示意圖

《豪雨與豪雪之氣象學》(張泉湧譯，2009)這本書講得最簡單明白。根據書上的說法：必須要有某種程度以上的「水平風場之垂直風切」存在，否則積雨雲根本無法形成中尺度對流系統那樣有組織的結構(如圖 15 所示)。所謂的「水平風場之垂直風切」是指在不同高度上水平風速大小的改變率，亦即通稱的「垂直風切」。事實上，積雨雲都是由濃積雲發展而來的，所以這個「水平風場之垂直風切」理論也適用於濃積雲。不過，有一點令我們感到困惑：作者在書中所提到的垂直風切，是用地面至 2500m 之間的風速差所求出來的一這跟我們的研究稍有

不同，我們的研究發現「降雨主要是受到 1500-12000m 的風切影響，而不是地面-1500m 的風切」！這問題出在哪裡？是在 1500 至 2500m 這之間的差值嗎？還是有其他原因？不得而知。事實上，埔里屬於盆地地形，而其周圍地區也有許多高山、河谷，地勢起伏很大，低層恐怕很難有穩定而明顯的垂直風切。

註 15：「風切變」(風切)是指風向或風速在一空間中存在著明顯的改變或差別，可以分為「水平風切變」和「垂直風切變」二種。

〔討論 4〕也許有人認為只要有濃積雲發展，當天就會下雨？

針對這一點，我們做了一個基本的統計：從 2012 年 11 月至 2017 年 1 月，總共觀察到 118 天有濃積雲，若扣除其中有符合 AL-FC 法則的 15 次，剩下 103 天，這期間只有 21 天有下雨，下雨機率为 20%。可見得若只有濃積雲，下雨機率並不高。

【結語】最後，我們不得不面對最棘手的問題，為什麼 AL-FC 可以用來預測降雨呢？當 AL-FC 成立時，卷雲遠在 6000 公尺以上的高空，而濃積雲那時才剛開始在地面附近發展，這兩者有什麼關聯？其實，這真的是一個很難回答的問題。我們曾向多位天氣學專家請教，但也都沒有得到滿意的答案；我們也曾花了很長一段時間去尋找「卷雲與天氣預測」相關資料，結果大多只是介紹性質的文章，並不是真正的實證研究。雖然找不到有力的理論或專家的支持，難免令人有些沮喪，但是我們對自己的研究成果很有信心，我們打算用自己的方式為 AL-FC 建立理論基礎。

我們認為 AL-FC 之所以可以用來預測降雨，最主要的原因是「大量的卷雲出現顯示出大氣的不穩定性」，而這剛好給濃積雲一個向上發展的機會—只要發展地夠高，水汽就可以凝結成水滴，進而導致降雨；其次，大量卷雲的出現表示中、高空的大氣有相當充足的水汽，而水汽的多寡往往會影響降雨量的大小。為了讓大家更清楚我們的陳述，以下再做進一步的解釋：

(1).卷雲的出現往往和鄰近地區的強對流運動有關：卷雲本身大都是由冰晶構成的，而形成冰晶的水汽又是哪裡來的呢？關於這一點，我們曾向王寶貫博士請教過，他是這樣回答我們的：「卷雲和密積雲(cumulus congestus)有緊密關係。如您所知，形成卷雲需要有水蒸氣在高空(6000 米以上)，而一般好天氣狀況下，水蒸氣很難傳到高空，唯有在強烈對流狀況下，如此的高空傳送才能發生。因此卷雲的出現，常和鄰近地區的強對流活動有關，特別是密積雲及積雨雲。」如此一來，我們確定了卷雲的水汽主要和鄰近地區的強對流有關。

(2).大量卷雲出現往往顯示出大氣的不穩定性：為什麼？①我們由 Skew-T 圖(圖 12)上的 T 曲線可以發現，當 AL-FC 成立時，大氣通常處於一個不穩定狀態(事實上，當天 CAPE 大於 1000 的次數也不少)，有利於對流的發展；②我們把這三年來所觀察到的濃積雲做個分析(圖 16)(原本有 119 次，其中有 23 次明顯受到外來系統的影響，故予以刪除)，發現當 A<sub>1</sub>L<sub>1</sub> 或 AL-FC 成立時，濃積雲發展的高度明顯比一般情況下的濃積雲高很多—這說明了大量卷雲出現時，不穩定的大氣創造一個讓濃積雲可以快速向上發展的有利條件；③我們在研究的過程中發現一個怪異的現象：有時候卷雲大量出現時，強烈熱對流系統離我們很遠，而且從衛星雲圖來看，埔里上空的卷雲並沒有延續到遠方的熱對流系統，這兩者之間甚至也看不到什麼雲！既然大部分的氣象專家都認為晴空中出現的卷雲主要來自附近的強對流系統，可是現在又怎麼解釋？關於這個問題，我們曾詢問過中央氣象局的鄭明典主任，他給我們的回答是：「卷雲出現一定要上層有水氣，可能從很遠的地方飄過來，中間也可能完全消失不見，遇到上升氣流才又出現。」這個回答給我們一個啟示：「卷雲的形成通常與當時大氣的不穩定狀態有關」。

圖 16 濃積雲發展高度-色塊拼圖

一般狀況下的濃積雲											A <sub>1</sub> L <sub>1</sub> + 濃積雲		AL-FC 成立		
1	8	28	29	41	47	55	65	70	77	112	101	106	12	24	76
2	11	30	32	42	48	57	64	71	78	113	104	107	108	20	90
3	13	33	35	43	49	58	66	72	81	114	105	89	9	21	91
4	15	34	36	44	51	61	67	73	83	115	109	10	16	19	94
5	26	37	38	45	52	62	68	74	87	116	110	50	14	18	99
7	27	39	40	46	54	63	69	75	96	117	111	118	17	100	119

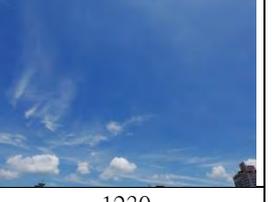
註 16：每個色塊上都有一個編碼，每個編碼代表我們所觀察到的某個濃積雲。

註 17：色塊擷選原則：(1).埔里附近 40km 以內；(2).當天濃積雲往上發展的最大高度(0800~2000)。

註 18：以下色塊依高度由低至高排列：■(高度<4000)→ ■(0°至-20.2°C)→ ■(-25.3至-31.2°C)→ ■(-31.3至-42.2°C)→ □(-42.3至-53.2°C)→ ■(-53.3至-59.2°C)→ ■(-59.3至-63.2°C)→ ■(-63.3至-80.2°C)。

(3).大量的卷雲出現表示中、高空有相當充足的水汽：我們由 Skew-T 圖(圖 12)就可以看出來，當 AL-FC 成立時，中、高空往往有比較大的濕度。其次，若根據王寶貫博士和鄭明典主任的講法，既然卷雲的水汽是由附近(也可能有一段較長的距離)的強對流系統傳送過來的，那麼，只要這對流系統還存在，風向也沒有大的變化，那麼這大氣高層中的水汽應該可以持續一段時間，如此，就有機會造成較大的降雨—因為根據我們的研究，若要有持久性降雨，必要條件之一，就是中、高層大氣的濕度要足夠。

圖 17 106/06/06 當天的雲系變化流程圖(符合 AL-FC 法則)

東方天空	東南方天空	南方天空	西方天空	北方天空
0730 	0730 	0730 	0730 	0730 
0930 	0930 	0930 	0930 	0930 
1020 	1020 	1020 	1020 	1020 
1120 	1120 	1120 	1120 	1120 
1230 	1230 	1230 	1230 	1230 
1330 	1330 	1330 	1330 	1330 
1430 	1430 	1430 	1430 	1430 
1530 	1530 	1530 	1530 	1530 

**【驗證】**到底要驗證什麼？...我們想要在交作品說明書前再一次地驗證 AL-FC 法則是否真的有如此準確的預測能力。因為 AL-FC 成立的條件比較嚴苛，加上今年天氣有點異常，我們等了將近十個月，一直到 2017/6/6 這一天才真正到來。這一天的雲況變化如圖 17 所示，Skew-T 如圖 18 所示。當天，1020AL-FC 成立，根據我們建立的規則，8 小時之內一定會下雨—結果，1530 就真的下雨了！至於在主要降雨區雨量的預測上：根據那天的「CAPE 25.7、中高層較乾燥、無明顯的外來系統介入」等資料，我們推測降雨量最多在 30 左右，結果，不出所料，當天的累積雨量為 34.8。至於說，為什麼會多出 4.8mm 呢？我們推測應該是低層水氣太潮溼的缘故—AL-FC 發生的前三天，中部地區連續下了二天「超大豪雨」，還因此破天荒的停班停課。

**感想：**1020AL-FC 成立時，我們曾向同學和多位師長報告我們的預測，可是當時的雲量不多，豔陽高照，大家都不太相信我們。接著，從 0730~1400 雲量的發展都不快，說老實話，我們內心多少有些忐忑不安，一直到 1500 天氣發生了大轉折，雲量轉成陰天，大家才對我們另眼相看。過不久，就在 1530 時下雨了—那一刻，真令人興奮！...我們冒著雨去收拾攝影器材，但是內心卻感覺十分美好。

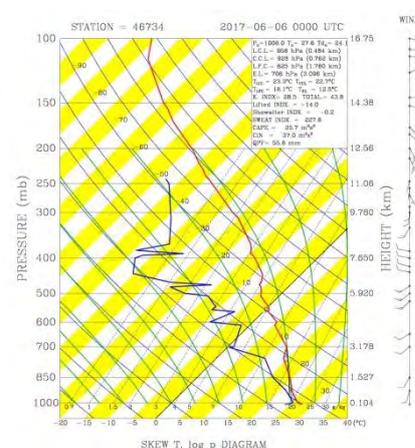


表 8 台灣低壓-雲況記錄表(2012~2014, 2016~2017)

形成時間	雲系變化 (0800→1100→1400→1700)
2012/11/28 (1400)	11/26：多雲(ACS5.5+高層雲)→陰(灰雲佈滿全天)→毛毛雨(灰雲佈滿全天)→毛毛雨(灰雲佈滿全天) 11/27：陰(淺灰雲佈滿全天)→雨(淺灰雲佈滿全天)→雨(淺灰雲佈滿全天)→雨(淺灰雲佈滿全天) 11/28：陰(高層雲 10)→毛毛雨(淺灰雲佈滿全天)→毛毛雨(淺灰雲佈滿全天)→雨(淺灰雲佈滿全天)
2012/12/27 (1400)	12/24：陰(淺灰雲佈滿全天)→多雲(以 ACS 為主)→多雲(以 ACS 為主)→多雲(以層積雲為主) 12/25：多雲(以 ACS 為主)→多雲(以 ACS 為主)→多雲(以 ACS 為主)→多雲(以 ACS 為主) 12/26：多雲(ACS4+層雲 2)→多雲(ACS3+積雲 2)→晴(以 ACS2 為主)→晴(積雲+ACS) 12/27：多雲(以 ACS 為主)→多雲(以 ACS 為主)→陰(灰白雲佈滿全天)→多雲(藍白雲佈滿全天)
2013/01/07 (2000)	1/4：多雲(以 ACS6.1 為主+積雲)→晴(卷雲+層積雲+積雲)→晴(以積雲為主)→晴(卷雲+積雲) 1/5：多雲(以 ACS 為主)→晴(卷雲+積雲)→多雲(積雲+層積雲)→多雲(ACS+層積雲+積雲) 1/6：晴(少許積雲)→晴(積雲)→晴(ACS+層積雲)→晴(積雲) 1/7：多雲(以 ACS 為主+積雲)→多雲(ACS+層積雲)→(以 ACS 為主+層積雲)→陰(灰白色雲佈滿全天)
2013/12/16 (0800)	12/13：灰白雲佈滿全天→灰白雲佈滿全天→陰(以 ACS 為主+灰白雲)→陰(以 ACS 為主+高層雲) 12/14：多雲(以 ACS 為主 4.9)→多雲(以 ACS 為主)→陰天(以高層雲為主+高積雲) 12/15：陰(以高層雲為主)→陰(以 ACS 為主 5.5)→陰(以高層雲為主)→陰(灰雲佈滿全天) 12/16：多雲(ACS+多量的卷層雲)→多雲(卷積+卷雲+ACS)→多雲(卷雲+ACS)
2014/03/08 (0800)	3/5：多雲(ACS3+高層雲)→多雲(ACS4+濃積雲)→多雲(ACS5+層積雲)→晴(天空有許多薄霧狀雲層) 3/6：陰(蔽光 ACS10)→陰(蔽光 ACS10)→陰(ACS+高層雲)→陰(以 ACS 為主+高層雲) 3/7：陰(ACS+層雲)→陰(以 ACS 為主+層雲)→陰(以漏光 ACS8 為主)→陰(淺灰雲佈滿全天) 3/8：陰(ACS+層雲)→陰(以波狀 ACS 為主)→陰(以高層雲為主)→陰(高層雲+ACS)
2016/11/26 (1400)	11/23：多雲(以 ACS6 為主)→陰(ACS+高層雲)→陰(ACS+高層雲)→陰(ACS+高層雲) 11/24：晴(以 ACS1 為主)→晴(以 ACS2 為主)→多雲(以 ACS4 為主)→多雲(ACS+層積雲) 11/25：晴(以卷雲為主)→多雲(ACS5)→多雲(以高層雲為主+ACS)→陰(以濃積雲為主) 11/26：晴(卷層雲+卷積雲)→陰(蔽光 ACS5+高層雲 5)→陰(以 ACS 為主+高層雲)→陰(灰雲佈滿全天)
2017/01/12 (0800)	1/9：晴(以 ACS0.7 為主)→多雲(以透光 ACS6 為主)→晴(ACS+層積雲)→多雲(ACS+層積雲) 1/10：晴(以絮狀 ACS1.5 為主)→晴(以透光 ACS 為主)→晴(以濃積雲為主)→晴(濃積雲+ACS) 1/11：晴(ACS0.7)→晴(少許卷雲)→晴(少許卷雲)→晴(以卷雲為主) 1/12：晴(高層雲+ACS)→多雲(高層雲+ACS)→多雲(以 ACS 為主)→晴(以 ACS 為主)

註 19：2013/11/02 剛好有颱風在台灣西南海域，距離台灣很近，天氣系統受到嚴重干擾，不列入分析。

在台灣低壓形成前，雲系變化是否有規則呢？是的，我們確實發現有規則性存在，由表 8 中的觀察記錄得知，在台灣低壓形成的當天和前三天都有大量的層狀高積雲(ACS)(圖 20、21)發生！至於說 2012-11-28 這次的台灣低壓出現的前幾天，雲況並不是以 ACS 為主，為什麼？因為這一次的台灣低壓和上一波的冷鋒，時間相隔太近，受到上一個鋒面的影響，所以雲況就跟其他幾次不太一樣了。



〔討論 1〕為什麼台灣低壓形成前都會有層狀高積雲出現？難道上方的大氣有出現逆溫層？

的確，ACS 的形成大多和逆溫層(或強穩定層)有關。因此，我們就把最近這幾年出現的台灣低壓找出來(註 20)，分析當天和前三天的穩定層，如表 9 所示。我們發現了二個現象：(1).在台灣低壓形成的三天前，一定會發生強逆溫層(註 21)；(2).這種能強烈阻止空氣塊往上發展的穩定層(強逆溫或特強穩定層)通常會持續到台灣低壓形成的當天。

註 20.一開始我們找出來的台灣低壓總共有 32 個，但是有 10 個被我們排除在外，原因是：(1).有些台灣低壓明顯受到其他天氣系統的干擾，例如鋒面或颱風；(2).有些台灣低壓形成時的位置距離台灣太遠；(3).有些台灣低壓出現在夏、秋二季，它的形成機制可能和一般的台灣低壓不同(事實上分析出來的結果也不同)。

註 21：名詞解釋：(1).強逆溫層：①溫度升幅很大的逆溫層+厚度不會太薄、②溫度升幅中等的逆溫層+厚度很厚(2).特強逆溫層：逆溫效果十分誇張的逆溫層；(3).強穩定層：指很接近逆溫，且有點厚度的穩定層；(4).特強穩定層：指特別厚的強穩定層。事實上，以上四種都屬於穩定層。因為我們發現台灣低壓形成前的穩定層發生次數繁多，而且十分強烈，所以才特別把穩定層又區分為四種(這些名詞完全是我們自己下的定義)。

表 9 台灣低壓-穩定層分析(針對強逆溫層、強穩定層)

	當 天		一天前		二天前		三天前	
	2000	0800	2000	0800	2000	0800	2000	0800
2012/12/27	--	穩	穩	逆	逆+穩	逆+穩	特穩	逆
2013/01/07	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆	逆+穩	--
2013/12/16	穩	穩	特穩	特穩	穩	特穩	逆	--
2014/01/02	穩	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆	逆+穩	逆
2014/01/12	穩	逆+穩	逆	逆	逆	逆	逆	逆
2014/02/06	逆+穩	穩	逆+穩	穩	特逆	逆	逆+穩	逆
2014/03/08	--	特穩	逆+穩	逆+穩	逆	逆+穩	逆+穩	逆+穩
2014/12/15	逆+穩	穩	穩	逆	逆+穩	逆+穩	逆	逆
2014/12/19	穩	穩	逆	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆	逆
2015/01/13	逆	逆	逆+穩	逆+穩	逆+穩	穩	穩	逆+穩
2015/03/03	逆+穩	逆	逆	逆	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆
2015/03/06	逆	逆+穩	穩	穩	逆	逆+穩	逆+穩	逆
2015/03/27	逆	穩	穩	穩	逆	穩	逆+穩	逆+穩
2015/11/29	逆+穩	逆	--	逆	逆+穩	特逆	逆	逆+穩
2015/12/02	逆+穩	穩	穩	穩	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆
2016/02/19	逆	逆	--	穩	逆+穩	逆	逆+穩	逆+穩
2016/02/22	穩	逆+穩	逆	逆+穩	逆+穩	逆	逆	逆
2016/02/27	逆+穩	穩	--	特穩	逆+穩	逆	逆+穩	逆
2017/01/12	--	逆+穩	穩	逆+穩	逆	特逆+穩	逆	逆
2017/01/18	逆	逆+穩	逆	逆+穩	逆+穩	特逆+特穩	逆+穩	逆+穩
2017/03/01	逆+穩	穩	逆+穩	逆+穩	特穩	逆+穩	逆+穩	逆+穩
2017/03/13	逆	穩	穩	逆	逆+穩	逆+穩	穩	特穩
2017/03/18	穩	穩	--	逆	逆+穩	穩	逆	逆

註 22：符號說明：逆，指「強逆溫層」；穩，指「強穩定層」；特逆，指「特強逆溫層」；特穩，指「特強穩定層」。

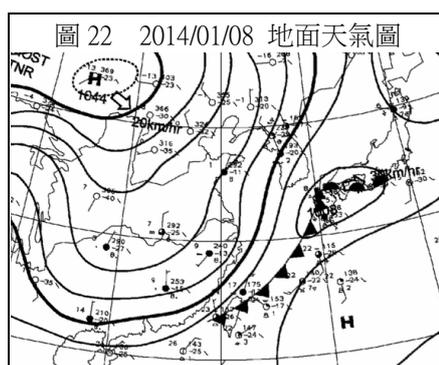
## (二).來自大陸的冷鋒系統

除了台灣低壓之外，侵襲台灣的冷鋒大多來自中國大陸。每一個冷鋒都有它的獨特性，不太容易分類，有人用冷鋒行進的快慢來分類，也有人把鋒面分作上滑鋒與下滑鋒。因為我們喜歡雲，也對雲做了長期的觀察，所以我們就打算以雲來分類。事實上，要用雲況來對冷鋒分類，比想像中的還困難。經過十分冗長而繁雜的分析後，我們終於發現來自大陸的冷鋒當中，有三種類型是可以用雲況來加以確定的。底下就依這個分類來分別說明：

### 1.鋒前以「高積雲」為主（層狀高積雲，簡稱 ACS）

表 10 來自大陸的冷鋒-雲況記錄表（以高積雲為主）(2012~2014，2016~2017)

接觸時間	雲系變化
2013/ 02/18 (2000)	2/16：晴(以霧狀雲為主)→多雲(巨塊積雲+層積雲)→多雲(ACS+層積雲+巨塊積雲)→多雲(以 ACS6.1 為主+層積雲) 2/17：晴(以積雲為主)→晴(以積雲為主)→多雲(以 ACS6.1 為主+積雲)→多雲(以 ACS8.2 為主) 2/18：晴(以霧狀雲為主)→晴(以積雲為主)→晴(層積雲+積雲)→多雲(以 ACS4 為主)
2013/ 02/27 (0200)	2/25：晴(卷層雲+卷積雲)→晴(積雲+ACS)→晴(以層積雲為主)→晴(以卷層雲為主) 2/26：陰(以 ACS9.1 為主)→陰(以 ACS 為主+層積雲)→陰(以 ACS6.0 為主+層積雲)→陰(灰白雲佈滿全天) 2/27：陰(層積雲+ACS)→陰(層積雲+ACS)→多雲(ACS+層積雲+積雲)→多雲(以層積雲為主)
2013/ 11/24 (2300)	11/22：陰(以高層雲為主)→陰(以高層雲為主)→陰(高層雲+ACS)→多雲(高層雲+ACS) 11/23：晴(無雲)→晴(無雲)→晴(雲量稀少)→晴(雲量稀少) 11/24：晴(以 ACS 為主)→多雲(以 ACS6 為主)→陰(以 ACS5 為主)→陰(灰白雲佈滿全天)
2013/ 12/09 (0800)	12/7：多雲(全都是 ACS5.5)→晴(ACS+巨塊積雲)→多雲(ACS+高層雲)→多雲(以 ACS 為主+積雲) 12/8：晴(ACS+灰白雲)→晴(ACS+積雲+巨塊積雲)→多雲(全部都是 ACS8.0)→多雲(以 ACS 為主) 12/9：多雲(ACS+灰白雲)→陰(ACS+灰白雲)→晴(以卷雲為主)→晴(以 ACS 為主)
2014/ 01/08 (1400)	1/6：多雲(全部是 ACS7.1)→陰(大都是 ACS8.1)→多雲(全部是 ACS4.3)→晴(ACS+積雲) 1/7：晴(以 ACS 為主)→晴(以巨塊積雲為主)→多雲(全部是 ACS7.4)→多雲(ACS+灰白雲) 1/8：晴(無雲)→多雲(以高積雲為主 2.9+積雲)→多雲(濃積雲+ACS)→多雲(霧狀的雲)
2016/ 12/22 (0800)	12/20：多雲(以 ACS6 為主)→晴(以 ACS 為主+卷雲)→晴(以 ACS 為主)→晴(卷積雲+ACS) 12/21：陰(以 ACS9 為主)→晴(以 ACS 為主)→多雲(以 ACS6 為主+層積雲)→多雲(ACS3+高層雲 4) 12/22：陰(以高層雲為主+ACS)→陰(以 ACS8 為主)→陰(以 ACS 為主+濃積雲)→晴(以 ACS 為主)
2017/ 03/31 (1100)	3/29：陰(以 ACS10 為主)→陰(以 ACS10 為主)→晴(以積雲為主)→晴(以 ACS7 為主) 3/30：晴(卷層雲+卷雲+卷積雲)→陰(以 ACS 為主)→陰(以 ACS 為主)→陰(以高層雲為主+ACS) 3/31：晴(濃積雲+積雲)→晴(濃積雲+積雲)→陰(以 ACS 為主)→陰(以 ACS 為主)



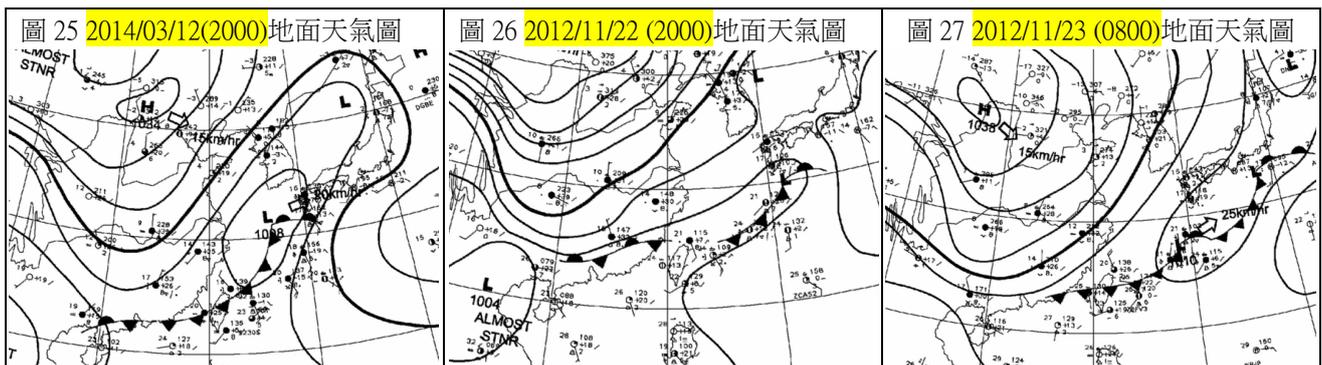
由表 10 得知，2013-2-18、2013-2-27、2013-11-24、2013-12-9、2014-1-8、2016-12-22、2017-3-31 這 7 次的冷鋒來臨當天及前二天，天空大多以出現 ACS（圖 23、24）為主。而且，我們發現一個有趣的現象，就是出現 ACS 的鋒面，它通過台灣的方式，幾乎都是以「遠離低壓中心 L 那一端」通過（圖 22）。

## 2.鋒前以「高層雲」為主

表 11 來自大陸的冷鋒-雲況記錄表（以高層雲為主）(2012~2014, 2016~2017)

接觸時間	雲系變化
2012/ 11/23 (0800)	11/21：下雨(高層雲接近全天空)→下雨(高層雲 10)→陰(高層雲佔大部分天空)→多雲(ACS+高層雲+層積雲+積雲) 11/22：多雲(ACS+高層雲+卷積雲)→多雲(大多是高層雲)→多雲(濃積雲+層積雲+高層雲)→多雲(層積雲+積雲) 11/23：一整天都是陰雨天(以高層雲為主)。
2012/ 11/26 (0200)	11/24：陰(以高層雲為主)→陰有雨(下層有許多層雲)→陰有雨(以高層雲為主)→陰(以高層雲為主) 11/25：晴(積雲+卷雲+層雲)→晴(以積雲為主+卷雲)→晴(以巨塊積雲為主)→多雲(以高層雲為主+高積雲) 11/26：多雲(ACS+高層雲)→陰(以高層雲為主)→陰(以高層雲為主)→陰(以高層雲為主)
2012/ 12/01 (1400)	11/29：雨(灰白色雲佈滿全天空)→多雲(以 ACS 為主+高層雲)→多雲(高層雲+高積雲)→多雲(天空大多是高層雲) 11/30：陰(以高層雲為主)→毛毛雨(以高層雲為主)→雨(灰色雲佈滿全天空)→雨(灰色雲佈滿全天空) 12/01：陰(灰色雲佈滿全天空)→陰(灰色雲佈滿全天空)→雨(以高層雲為主)→陰(以高層雲為主)
2013/ 04/05 (2000)	4/3：陰(層積雲為主)→陰(以層積雲為主)→陰(以高層雲為主)→多雲(以 ACS 為主) 4/4：陰(淺灰雲佈滿全天空)→陰(淺灰雲佈滿全天空)→雨(以高層雲為主)→多雲(以高層雲為主) 4/5：陰(以高層雲為主)→陰(高層雲+高積雲)→陰(以 ACS 為主)→陰(高層雲+高積雲)
2014/ 03/04 (0800)	3/2：陰(以高層雲為主)→陰(高層雲+ACS)→陰(以高層雲為主+高積雲)→多雲(以 ACS 為主) 3/3：整天都是陰天(以高層雲為主) 3/4：陰(以灰白雲層為主+ACS)→陰(以高層雲為主)→陰(以高層雲為主)→陰(以高層雲為主)
2014/ 03/12 (1700)	3/10：陰(以 ACS 為主+高層雲)→陰(以高層雲為主)→陰(以高層雲為主)→陰(以高層雲為主) 3/11：陰(以高層雲為主)→陰(以高層雲為主)→陰(淺灰雲佈滿全天空)→陰(以高層雲為主) 3/12：陰(淺灰雲佈滿全天空)→陰(以高層雲為主)→陰(以高層雲為主)→陰(淺灰雲佈滿全天空)

由表 11 得知，2012-11-23、2012-11-26、2012-12-1、2013-4-5、2014-3-4、2014-3-12 這六次的冷鋒來臨當天及前二天，天空大多以出現高層雲為主。鋒線通過台灣的方式有二種：(1).鋒線中段通過台灣(圖 25)、(2).鋒線來台灣前先斷成二截，到台灣時又接連成一線(圖 26、27)。

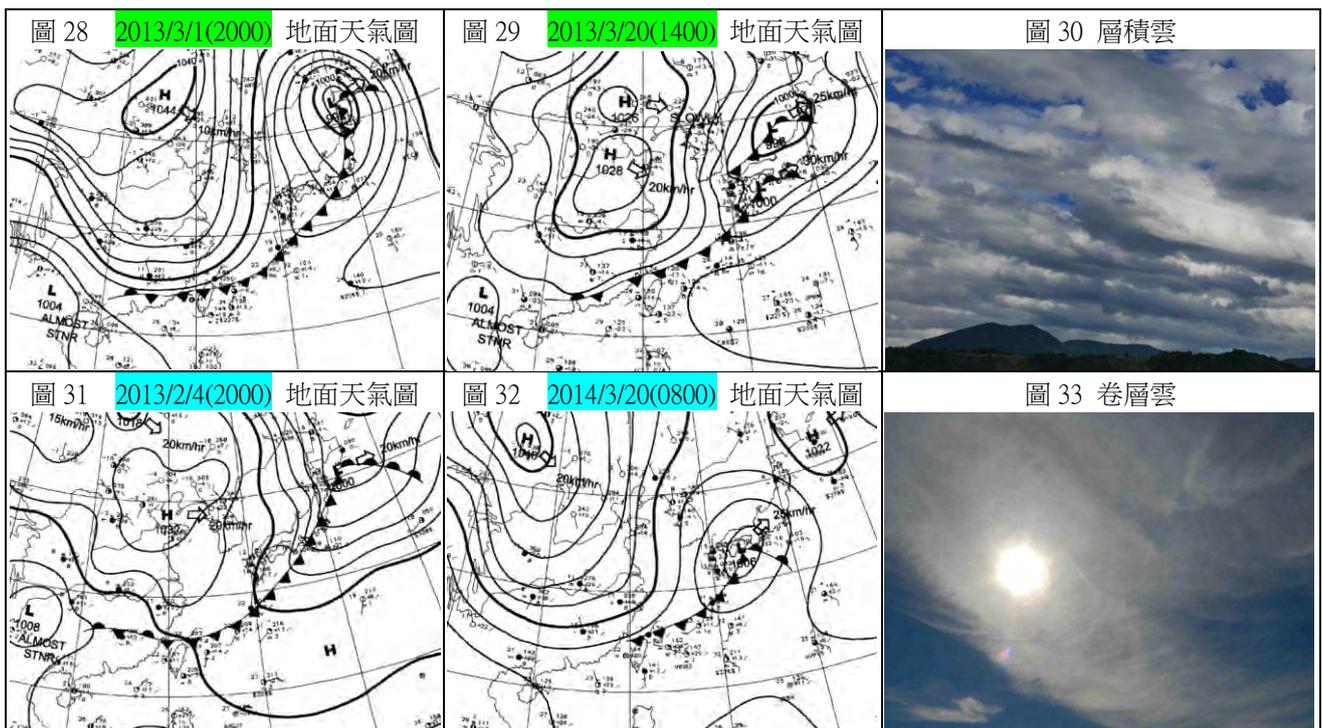


### 3.鋒前以出現「層積雲」為主

表 12 來自大陸的冷鋒-雲況記錄表（以層積雲為主）(2012~2014, 2016~2017)

接觸時間	雲系變化
2013/03/01 (2000)	2/27：陰(以層積雲 7.5 為主+高積雲)→陰(以層積雲 8 為主)→多雲(以層積雲 6 為主)→多雲(以層積雲為主) 2/28：晴(積雲)→多雲(以巨塊積雲為主)→多雲(以巨塊積雲為主)→多雲(以層積雲為主) 3/1：陰(ACS+高層雲)→多雲(ACS+層積雲)→多雲(以層積雲為主+ACS)→多雲(以層積雲為主)
2013/03/13 (1400)	3/11：晴(雲量少)→晴(積雲)→晴(積雲)→多雲(灰白霧雲+積雲) 3/12：晴(層雲)→晴(積雲)→多雲(層積雲+積雲)→晴(霧狀層雲) 3/13：晴(卷雲+卷積雲+層雲)→多雲(以層積雲為主)→陰(淺灰雲佈滿全天)→陰(淺灰雲佈滿全天)
2013/03/18 (1100)	3/16：晴(霧狀層雲)→多雲(以層積雲為主+巨塊積雲)→多雲(以層積雲為主+霧狀層雲)→多雲(卷層雲+層積雲) 3/17：晴(霧狀層雲)→晴(霧狀層雲)→多雲(霧狀層雲+層積雲)→(卷層雲+層雲) 3/18：多雲(以霧狀雲為主)→陰(淺灰雲佈滿全天+層積雲)→陰(以層積雲為主+淺灰雲)→陰(淺灰雲佈滿全天)
2013/03/20 (1400)	3/18：多雲(大多是霧狀雲)→陰(灰白雲佈滿全天+層積雲)→陰(以層積雲為主)→陰(灰色雲佈滿全天) 3/19：晴(霧狀雲佈滿全天)→陰(霧狀雲+層積雲)→多雲(以霧狀雲為主+層積雲)→多雲(卷層雲+卷積雲) 3/20：多雲(霧狀雲+高積雲)→陰(以灰色雲為主+層積雲)→陰(以層積雲為主)→陰(以 ACS 為主+卷雲+卷積雲)
2013/03/30 (2300)	3/28：晴(以霧狀雲為主)→多雲(以層積雲 5.5 為主)→多雲(以層積雲 4.5 為主)→多雲(以層積雲 4 為主) 3/29：多雲(卷層雲+層積雲)→多雲(以層積雲為主)→陰(以層積雲 5 為主)→陰(以層積雲 10 為主) 3/30：多雲(以 ACS 為主)→晴(以層積雲為主)→陰(淺灰雲佈滿全天)→陰(以層積雲為主)

由表 12 得知，2013-3-1、2013-3-13、2013-3-18、2013-3-20、2013-3-30 這五次冷鋒來臨當天及前二天，天空大多以出現層積雲為主。我們發現層積雲的出現似乎和鋒面來到台灣的密集度（鋒面和鋒面之間的時間間隔）有關—台灣剛好位於二個鋒面之間的過渡區。最典型的例子是 2013-3-1(圖 28)和 2013-3-20(圖 29)這二天的鋒面。2013-3-1 這一次鋒面來臨前二天剛好有一道冷鋒通過，所以鋒面前第二天（指 2/27 那一天）整個天空都以層積雲為主；而 2013-3-20 這一次的鋒面，情況也類似。



〔討論 1〕來自大陸的冷鋒難道只有你們上面所講的三種類型？

當然不是！來自大陸的冷鋒並不只以上三種，只是以上三種冷鋒來臨前 2~3 天都會出現某種特定的雲況（通常同一種類型的鋒面通過台灣的方式也會很類似），才把它們歸為一類。其實，2013-2-4(圖 31)和 2014-3-20(圖 32)這二天也許可以歸為第四個類型，為什麼？因為我們發現這二次鋒面來臨前 2~3 天都出現了大量的卷層雲，而且它們的鋒線有一個共同點—以遠離 L 那一端的邊緣掃過台灣。此外，我們也發現 2013-2-4 這一道鋒面十分有趣：這次的鋒面很奇怪，碰到台灣陸地時，馬上退了回去（好像有人被電到，手縮了回去），再次回頭碰觸台灣時，才以遠離 L 的那一端邊緣掃過台灣。這是否說明了，卷層雲的形成跟「鋒面北退（暖空氣較強勢），再回頭過境台灣（冷空氣較強勢）」有密切的關係？這有待以後更深入的研究。

其次，我們也由這個鋒面發現一個有趣的規則—只要鋒線類似，加上通過台灣的方式雷同，則鋒面來臨前一天所出現的雲況也會類似。為什麼？我們將這個鋒面和 2013-3-20 的鋒面來作比較：

2013-2-4 這道冷鋒於 2000 碰觸台灣，前一天的雲況變化如下：

陰(高層雲+灰白雲)→陰(灰白雲佈滿全天)→多雲(以卷層雲為主)→多雲(卷層雲+層積雲)

而 2013-3-20 這一道冷鋒於 1400 碰觸台灣，前一天的雲況變化如下：

陰(霧狀灰白雲佈滿全天)→陰(霧狀雲灰白+層積雲)→多雲(以霧狀灰白雲為主+層積雲)→多雲(卷層雲+卷積雲)

註 23：關於 2013-3-20 前一天的霧狀灰白雲，我們事後藉由 Terra 衛星雲圖來研判，確定就是卷層雲。

從圖 29 和圖 31 得知，這二道冷鋒的鋒線長得非常像，加上它們通過台灣的方式也十分雷同，所以它們的雲況變化也就非常類似。

## 陸、結論

底下我們依照三個研究目的，依序呈現我們的結論。

### 一、卷雲與總雲量變化之相關探討

關於卷雲和總雲量變化之關係，我們發現了二個規則：

- 1.AL-4 法則：當卷雲雲況通過  $AlL_1$  門檻(且沒有發生 Ci-Cc 爆量抑制效應)，若當時天空的總雲量  $\geq 4$  時，則 6 小時後，大多會轉變為陰天（總雲量  $\geq 9$ ），預測成功機率為 96%。

2.AL-Ccon 法則：當卷雲雲況通過  $A_{L1}$  門檻時，若 3 小時之內有伴隨濃積雲的發展，不管卷雲出現當時天空總雲量多少，6 小時後天氣一定會轉變為陰天（總雲量  $\geq 9$ ），有效預測機率為 100%。

## 二、卷雲與下雨預測之相關探討

- 1.關於卷雲和下雨預測之探討，我們發現了一個十分有力的規則：『當卷雲出現時，若符合  $A_{L1}$  門檻、且同時有濃積雲自由向上發展（上層沒有「強穩定層」阻擋它往上發展的趨勢），則埔里地區 8 小時之內都會下雨，有效預測機率達 100%。』我們把這個規則叫作「AL-FC 法則」（A 表示卷雲雲量，L 表示卷雲的長度，FC 是自由對流「Free Convection」的意思）。
- 2.若將 AL-FC 和「CAPE、風切、水汽含量」互相搭配，更可以用來預測主要降雨區雨量的大小。

## 三、冷鋒鋒面接觸台灣前之天氣變化相關探討

- 1.我們發現若要用雲況來預測冷鋒鋒面的到來，首先必須把「台灣低壓-冷鋒系統」和「來自大陸的冷鋒系統」分開來研究。
- 2.我們發現在台灣低壓形成的前三天之內通常都有大量的層狀高積雲發生；其次，我們發現了二個現象：(1).在台灣低壓形成的三天前，一定會發生強逆溫層；(2).這種能強烈阻止空氣塊往上發展的穩定層(強逆溫或特強穩定層)通常會持續到台灣低壓形成的當天。
- 3.我們發現來自大陸的冷鋒當中，有三種類型是可以用雲況來加以確定的：
  - (1).鋒前以出現「高積雲」為主（層狀高積雲，簡稱 ACS）：有一類型的冷鋒來臨前 2~3 天，天空大多以出現 ACS 為主；而且，我們發現出現 ACS 的鋒面，鋒線通過台灣的方式，幾乎都是以「遠離低壓中心 L 那一端」通過。
  - (2).鋒前以出現「高層雲」為主：有一類型的冷鋒來臨前 2~3 天，天空大多以出現高層雲為主；而且此類型鋒面通過台灣的方式有二種：(1).鋒線中段通過台灣、(2).鋒線來台灣前先斷成二截，到台灣時又接連成一線。
  - (3).鋒前以出現「層積雲」為主：有一類型的冷鋒來臨前 2~3 天，天空大多以出現層積雲為主。我們發現層積雲的出現似乎和鋒面來到台灣的密集度（鋒面和鋒面之間的時間間隔）有關—鋒面之間的密集度愈高，愈容易出現層積雲。

## 柒、未來展望

- 1.雲的移動方向就是風向嗎？就大多數的雲而言確實如此，可是對卷雲而言，卻不盡然！我們在研究卷雲的過程中發現：纖維狀卷雲主軸的延伸方向大多和風向垂直（或接近垂直）。這個現象十分有趣，可以留待以後再研究。
- 2.當長長的卷雲高懸天空時，是否表示高空一定有強風，才會把卷雲「吹」得這麼長？然而，我們卻發現當 AIL 成立時，高空的風速並沒有比較大！那麼，卷雲的形成難道和風速無關嗎？這倒未必。也許是很強的風把水汽從遙遠的地方吹過來，到台灣上空時，風速減弱了，加上大氣的不穩定條件，最後才形成卷雲。是不是如此？可以留待以後再研究。

## 捌、參考資料

- 1.李冠儀、盧奕帆、劉郁青(2014)。天氣密碼—雲與天氣預測之研究。第 54 屆全國科展。地球科學科。
- 2.游丕若(2002)。雲的奧秘—臺灣篇。新北市：人人出版有限公司。
- 3.黃郁婷譯(2011)。雲圖鑑。臺中市：晨星出版有限公司。
- 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.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。
- 6.王寶貫(1997)。雲物理學。臺北市：渤海堂文化事業有限公司。
- 7.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。
- 8.呂建穎(2013)。利用光達衛星 CALIPSO 研究高空卷雲分佈。中央大學生物物理碩士班論文。
- 9.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。
- 10.中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>
- 11.Sounding Map <http://weather.uwyo.edu/upperair/europe.html>
- 12.大氣水文研究資料庫 <https://dbahr.narlabs.org.tw/pages/RegisterNew.aspx4>
- 13.觀測資料查詢系統 <http://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>
- 14.NASA 高解析度衛星雲圖 <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
- 15.風切圖的資料來源 <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>

## 【評語】 030510

對雲與天氣之關係進行長時間之觀察與討論，也得到一些有趣之結果，未來可以強化基本學理之了解，對雲與天氣之關係可以有進一步之觀察解釋。

作品海報

# 摘要

我們對埔里的雲況做了三年的觀察，並嘗試利用各種分析方法來探討雲與天氣變化之關係。研究成果如下：(1).在卷雲與總雲量變化方面：我們發現了 AL-4 和 AL-Ccon 二個法則，可以用來預測總雲量的劇烈改變。(2).在卷雲與下雨預測方面：我們發現若雲況符合 AL-FC 法則，則 8 小時之內一定會下雨；若再搭配 CAPE、風切、濕度等條件，更可以用來預測主降雨區的雨量大小。(3).在冷鋒方面：我們發現台灣低壓-冷鋒系統形成前 3 天，都會出現大量的層狀高積雲，而且上方大氣都會有很強的逆溫層或穩定層(通常會持續到鋒面形成當天)；至於來自大陸的冷鋒當中，我們發現有三種類型是可以用雲況來確定鋒面是否即將到來。

## 壹、研究動機

說到研究動機，其實我們當初的動機很單純，就是喜歡雲。因此我們希望透過這次的研究培養出觀察雲的能力，並試著找出雲與天氣變化之關係。

## 貳、研究目的

- 一、卷雲與總雲量變化之相關探討
- 二、卷雲與下雨預測之相關探討
- 三、冷鋒鋒面接觸台灣前之天氣變化相關探討

## 參、研究器材與設備

平常用眼睛觀察，再以紙、筆記錄下來。之後，在做資料分析時則必須從網路查詢相關的天氣資訊。

## 肆、研究過程或方法

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。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、雨層雲、濃積雲等等；(2).判斷難度中等的雲類：例如多孔卷積雲、多孔高積雲、層積雲等等；(3).較難判斷的雲類：例如「卷積雲有時容易和較高的高積雲混淆」。不管在國內外，雲和天氣預測的實證研究都不多，而卷雲和天氣變化之關聯性研究又更少。所以，要如何觀察雲、如何記錄雲、如何分析雲與天氣之關係...等研究方法，都是我們經過非常多次的嘗試，在不斷地修正中建立起來的；研究期間我們也向不少天氣專家、學者請教過，他們的建議或指導讓我們獲益良多。圖 2 所呈現的是我們這三年來研究方法的簡化流程圖。

## 伍、研究結果與討論

底下根據我們的三個研究目的，依序呈現我們的研究結果，並對某些特殊的情況作深入的探討。

### 一、卷雲與總雲量變化之相關探討

關於卷雲和雲量變化之觀察，我們發現若要對天氣有較明確的預測成效，卷雲的雲況必須通過一個基本的門檻—卷雲雲量(A)  $\geq 1$ ，且卷雲長度(L)  $\geq L_0$  ( $L_0$  表示一個象限橫幅的長度)；我們把這門檻叫作「卷雲  $A_iL_i$  門檻」。卷雲若能通過  $A_iL_i$  門檻，再加上一些條件，就能有效地預測天氣。我們經過反覆分析探討後，得出二個重要的規則：

**1.AL-4 法則：**當卷雲雲況通過  $A_iL_i$  門檻(且沒有發生 Ci-Cc 爆量抑制效應)，若當時天空的總雲量  $\geq 4$  時，則 6 小時後，大多會轉變為陰天(總雲量  $\geq 9$ )，預測成功機率為 96%。

有效觀測有 23 次(其中只 2013/6/7 這一次例外)。

什麼叫作「Ci-Cc 爆量抑制效應」？在這裡有必要解釋一下。當天空出現極大量(爆量)的卷雲或卷積雲時，若當時中、低雲族非常少，則接下來一天之內雲量的發展將受到抑制(表 2)。我們把這個現象叫作「CiCc 爆量-抑制效應」(Burst-Inhibit Effect of Ci or Cc, 簡稱 BIECC)。像 2016/12/9 這一天，雖然卷雲符合  $A_iL_i$  門檻，且當時總雲量  $\geq 4$ ，但是受到 BIECC 的影響，接下來的雲量不只沒有變多，反而是直接歸零。

**2.AL-Ccon 法則：**當卷雲雲況通過  $A_iL_i$  門檻時，若 3 小時之內有伴隨濃積雲的發展，不管卷雲出現時天空總雲量多少，6 小時後天氣都會轉變為陰天(總雲量  $\geq 9$ )，有效預測機率為 100%。  
〔討論 1〕在 AL-Ccon 法則中，雲量發展成陰天一定要搭配卷雲  $A_iL_i$  嗎？光是濃積雲本身不是也可以發展到陰天？



圖 1 埔里附近較高的山頭

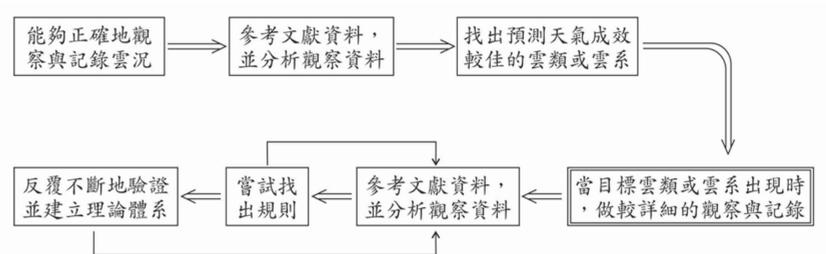


圖 2 研究方法簡化流程圖



圖 3 Terra 衛星拍攝的雲圖



圖 4 此圖為圖 3 的雲頂高度圖

表 1 符合  $A_iL_i$  門檻之觀察記錄(簡表)

編號	雲況日期	卷雲雲量	卷雲長度	出現時總雲量	3小時後總雲量	6小時後總雲量	補充說明
1	2013/03/27	4.0	$>L_0$	5.0	8.8	9.9	1000 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
2	2013/05/14	1.1	$>L_0$	2.9	7.3	8.8	1000 $A_iL_i$ 成立
3	2013/05/26	1.5	$>L_0$	2.1	--	5.1	0900 $A_iL_i$ 成立
4	2013/05/27	3.8	$>L_0$	4.2	--	9.0	0900 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
5	2013/05/30	1.9	$>L_0$	6.1	7.5	10.0	1200 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
6	2013/06/02	1.1	$>L_0$	1.1	$>1.7$	$>3$	$A_iL_i$ 取 0900
7	2013/06/07	3.5	$>L_0$	6.4	4.7	7.1	1200 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
8	2013/06/11	4.5	$>L_0$	5.6	6.8	10.0	0900 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
9	2013/06/16	1.1	$>L_0$	7.0	10.0	10.0	1200 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 也成立
10	2013/07/02	2	$>L_0$	3.1	5.0	9.0	0900 $A_iL_i$ 成立
11	2013/07/04	2.4	$>L_0$	3.8	6.9	10.0	0900 $A_iL_i$ 成立
12	2013/07/05	1.4	$>L_0$	2.3	3.7	10.0	0900 $A_iL_i$ 成立
13	2013/07/06	$>4.1$	$>L_0$	$>4.5$	$>2.8$	9.0	0900 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
14	2013/07/07	1.4	$>L_0$	6.2	--	10.0	1200 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
15	2013/07/08	2	$>L_0$	3	5.5	9.0	$A_iL_i$ 取 1000，那時 AL-4 也成立
16	2013/07/15	1.5	$>L_0$	2.6	6.7	10.0	0900 $A_iL_i$ 成立，1200 AL-4 成立。
17	2014/05/12	1~2	$\approx L_0$	5.0	9.5	10.0	1100 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
18	2014/06/16	2~3	$>L_0$	5~6	10.0	10.0	0800 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
19	2014/06/18	2.1	$>L_0$	5.5	9.3	10.0	0830 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
20	2014/06/19	1.2	$>L_0$	5.5	6.0	10	0900 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
21	2014/06/21	1.1	$>L_0$	1.8	6.7	10	0900 $A_iL_i$ 成立
22	2014/06/23	2~3	$>L_0$	4~5	9.6	10	0800 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
23	2014/06/27	1~2	$>L_0$	2.7	8.0	8.7	0800 $A_iL_i$ 成立
24	2014/06/30	2~3	$>L_0$	4~5	7.5	10.0	$A_iL_i$ 成立取 0900，那時 AL-4 也成立。
25	2014/07/01	1~2	$>L_0$	2.7	5.7	9.0	0900 $A_iL_i$ 成立
26	2016/11/25	3	$>L_0$	4	5	9.0	0900 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
27	2016/12/02	2	$>L_0$	5.5	6.5	9.5	1120 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
28	2016/12/05	3	$>L_0$	6	10	9.0	1220 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
29	2016/12/09	1.5	$>L_0$	4.5	0	0	1000 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
30	2016/12/27	2.5	$>L_0$	5	10	10	1100 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
31	2017/02/21	3	$>L_0$	3	6	10	1200 $A_iL_i$ 成立
32	2017/04/18	2	$>L_0$	6	9	10	0800 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立。
33	2017/05/10	2	$>L_0$	2	7.6	8.0	0830 $A_iL_i$ 成立
34	2017/05/18	4.5	$>L_0$	7.5	8	10	1000 $A_iL_i$ 成立，且 AL-4 成立
35	2017/06/06	2.5	$>L_0$	3	4	9.0	0900 $A_iL_i$ 成立

表 2 CiCc 爆量-抑制效應

日期	爆量雲類(出現時間)	總雲量變化
2012/12/29	卷積雲 1.6(1500)	大於 4→大於 2.6→夜晚，無法觀測
2016/12/01	卷積雲 1.3(1010)	7→大於 0.6(1100)→小於 1→小於 1
2016/12/09	卷積雲 $>1$ (0910)	大於 4→2→0→0
2017/03/23	卷雲 5	下午 1800 出現大量卷雲，結果，隔天一整天都是晴天。

# 卷雲

## 一雲與天氣變化之探討

### 二、卷雲與下雨預測之相關探討

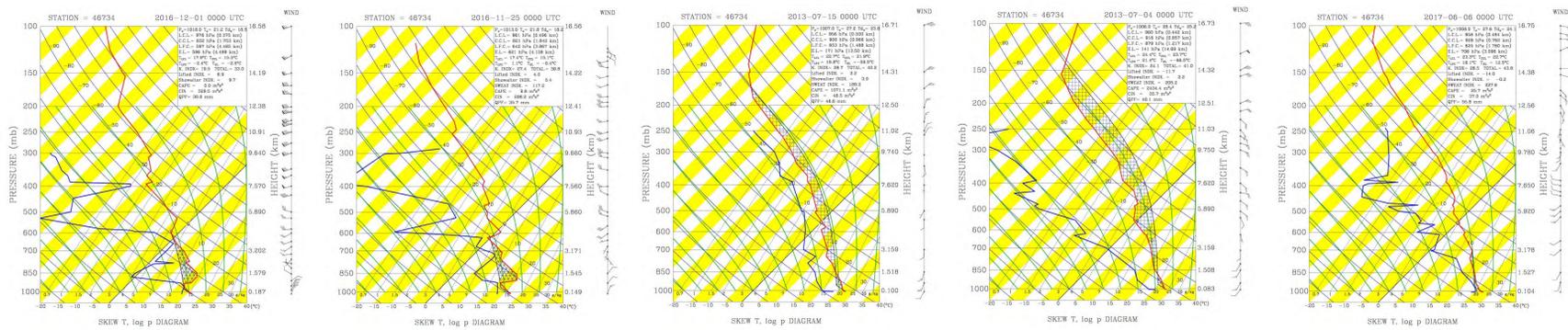


圖 5 2016-12-01

圖 6 2016-11-25

圖 7 2013-07-15

圖 8 2013-07-04

圖 9 2017-06-06

表 3 AL-FC 法則與主降雨區雨量大小的預測

降雨等級 (累積雨量)	條件			補充說明
	CAPE	上層風切	中、高空水汽含量	
豪雨	>1000	大	高	實例：2013/7/5、2013/7/15
大雨	>2000	不能太小	不能太低	實例：2013/5/30、2013/7/2、2013/7/5、2013/7/7、2014/5/12
<40mm	<200	無其他外來水汽		實例：2014/6/18、2014/6/19、2017/6/6

圖 10 濃積雲發展高度-色塊拼圖



圖 11 埔里周圍 50km 內的雨量測站



圖 12 2016-11-25



【結果】我們發現：當卷雲出現時，若符合 AL<sub>L</sub> 門檻、且同時有濃積雲發展（上層沒有「強穩定層」阻擋它往上發展的趨勢），則埔里地區在 8 小時之內都會下雨，預測成功機率達 100%。我們把這個規則叫作「AL-FC 法則」（A 表示卷雲雲量，L 表示卷雲的長度；FC 是自由對流「Free Convection」的意思）。

AL-FC 成立的當天，雖然埔里都會下雨，但是雨量最多的地點通常不是埔里，而是在埔里附近的地區——我們把降雨量最多的前幾名叫作「主要降雨區」。我們發現若將 AL-FC 和「CAPE」、「風切」、「中、高空水汽含量」搭配，更可以用來預測主降雨區的雨量大小，如表 4 所示。

【結語】最後，我們不得不面對最棘手的問題，為什麼 AL-FC 可以用來預測降雨呢？我們認為 AL-FC 之所以可以用來預測降雨，最主要的原因是「大量的卷雲出現顯示出大氣的不穩定性」（圖 10），而這剛好給濃積雲一個向上發展的機會——只要發展地夠高，水汽就可以凝結成水滴，進而導致降雨；其次，大量卷雲的出現表示中、高空的大氣有相當充足的水汽，而水汽的多寡往往會影響降雨量的大小。

表 4 AL-FC+CAPE+Wind Shear 分析表

AL-FC 成立時間	CAPE 大小	垂直大氣風切情形	中、高空水汽含量	其他系統介入影響	主降雨區降雨情形
2013/05/30 (1200)	2454.9	上層風切 15，低層風切<2。	中、高層濕度中下	不明顯	(1).累積雨量平均：47.0mm；(2).最大時雨量平均：40.0mm(大雨)。
2013/07/02 (1500)	2061.4	上層風切 19，低層風切 2。	中、高層濕度中等	不明顯	(1).累積雨量平均：83.8mm；(2).最大時雨量平均：42.5mm。
2013/07/04 (1200)	2434.4	上層風切 21，低層風切 0。	中、高層十分乾燥	不明顯	(1).累積雨量平均：41.0mm；(2).最大時雨量平均：34.3mm。
2013/07/05 (0900)	2260.5	上層風切 24，低層風切 0。	中、高層濕度中等	不明顯	(1).累積雨量平均：118.7mm(豪雨)；(2).最大時雨量平均：75.5mm。
2013/07/07 (1200)	2373.3	上層風切 27，低層風切 0。	中、高層濕度中上	不明顯	(1).累積雨量平均：85.3mm；(2).最大時雨量平均：67.8mm。
2014/05/12 (1100)	2278.7	上層風切 15，低層風切 5。	中、高層濕度稍大	不明顯	(1).累積雨量平均：82.5mm；(2).最大時雨量平均：43.3mm。
2013/07/08 (1200)	625.8	上層風切 17，低層風切 0。	中、高層濕度中等	不明顯	(1).累積雨量平均：46.5mm；(2).最大時雨量平均：35.5mm。
2013/07/15 (1200)	1071.1	上層風切 18，低層風切 0。	中、高層濕度稍大	不明顯	(1).累積雨量平均：171.5mm(豪雨)；(2).最大時雨量平均：75.8mm。
2014/06/30 (0900)	816.5	上層風切 7，低層風切 3.5。	中、高層濕度中等	不明顯	(1).當天累積雨量：41.5mm；(2).最大時雨量：22.0mm。
2014/07/01 (0900)	1459.9	上層風切 6，低層風切 3。	中、高層濕度中上	不明顯	(1).累積雨量平均：47.5mm；(2).最大時雨量平均：26.8mm。
2013/07/06 (1200)	575.5	上層風切 27，低層風切 0。	中、高層濕度中等	不明顯	(1).累積雨量平均：50.8mm；(2).最大時雨量平均：28.3mm。
2013/06/16 (1200)	296.6	上層風切 15，低層風切<1.5。	中、高層濕度很大	在附近有冷心低壓	(1).累積雨量平均：45.3mm；(3).最大時雨量平均：16.3mm。
2014/06/18 (0830)	154.1	上層風切 0，低層風切 3。	中、高層濕度中等	不明顯	(1).累積雨量平均：35.3mm；(2).最大時雨量平均：14.3mm。
2014/06/19 (1000)	6.5	上層風切 0，低層風切 3.5。	中、高層濕度稍低	不明顯	(1).累積雨量平均：12.0mm；(2).最大時雨量平均：8.8mm。
2014/06/23 (0800)	24.4	上層風切 15，低層風切 3。	中、高層濕度中等	有滯留鋒接近台灣	(1).累積雨量平均：80.0mm；(2).最大時雨量平均：44.5mm。
2017/06/06 (1020)	25.7	上層風切 0，低層風切 3。	中、高層濕度稍低	不明顯	(1).累積雨量平均：34.8mm；(2).最大時雨量平均：30.0mm。

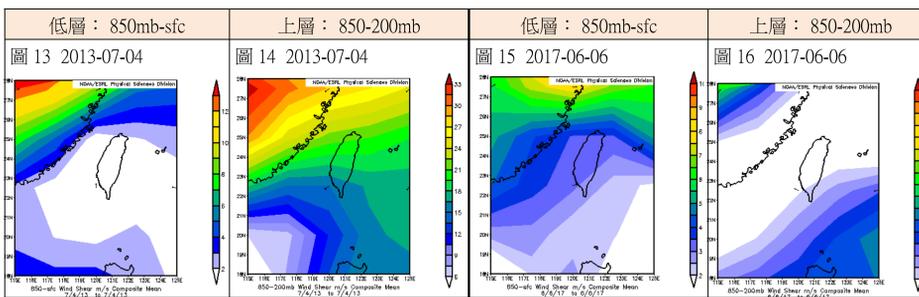


圖 18 2017/06/06 當天的雲系變化流程圖(符合 AL-FC 法則)



【驗證】到底要驗證什麼？...我們想要在交作品說明書前再一次地驗證 AL-FC 法則是否真的有如如此準確的預測能力。因為 AL-FC 成立的條件比較嚴苛，加上今年天氣有點異常，我們等了將近十個月，一直到 2017/6/6 這一天才真正到來。這一天的雲況變化如圖 18 所示，Skew-T 如圖 9 所示。當天，1020AL-FC 成立，根據我們建立的規則，8 小時之內一定會下雨——結果，1530 就真的下雨了！

〔討論 3〕垂直風切和降雨的關係這麼密切，是否有現行的理論可以用來支持你們的研究？

〔討論 4〕也許有人認為只要有濃積雲發展，當天就會下雨？

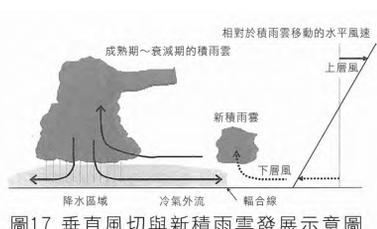


圖 17 垂直風切與新積雨雲發展示意圖

圖 19 雲況符合 BIECC--當天的雲系變化 (以 2016/12/09 為例)



圖 20 纖維狀卷雲



圖 21 密卷雲



圖 22 鈎狀卷雲



### 三、冷鋒鋒面接觸台灣前之天氣變化相關探討

#### (一).台灣低壓-冷鋒系統

2012/11/28、2012/12/27、2013/01/07、2013/12/16、2014/03/08、2016/11/26、2017/01/12 這 7 天都有出現台灣低壓，我們發現在台灣低壓形成的當天和前三天都有大量的層狀高積雲(ACS)(圖 24、25)發生(只有 2012/11/28 例外)。其次，我們就把最近這幾年出現的台灣低壓找出來，分析當天和前三天的穩定層，如表 5 所示。我們發現了二個現象：(1).在台灣低壓形成的三天前，一定會發生強逆溫層；(2).這種能強烈阻止空氣塊往上發展的穩定層(強逆溫或特強穩定層)通常會持續到台灣低壓形成的當天。

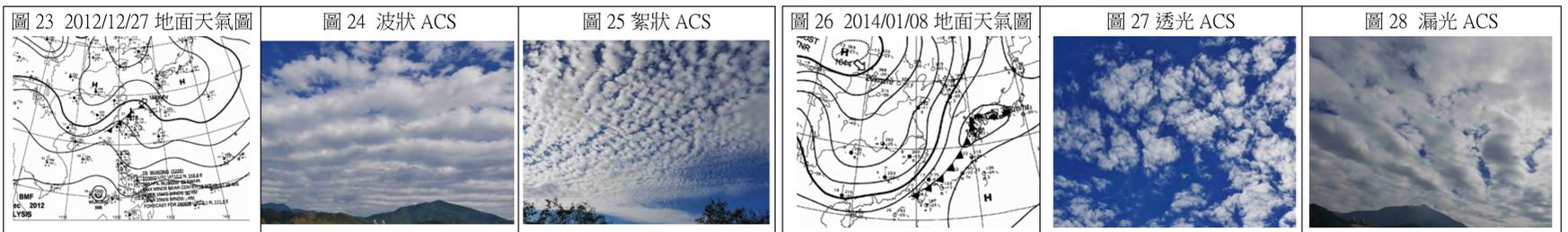
表 5 台灣低壓-穩定層分析(針對強逆溫層、強穩定層)

	當天		一天前		二天前		三天前	
	2000	0800	2000	0800	2000	0800	2000	0800
2012/12/27	--	穩	穩	逆	逆+穩	逆	特穩	逆
2013/01/07	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆	逆+穩	--
2013/12/16	穩	穩	特穩	特穩	穩	特穩	逆	--
2014/01/02	穩	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆	逆+穩	逆
2014/01/12	穩	逆+穩	逆	逆	逆	逆	逆	逆
2014/02/06	逆+穩	穩	逆+穩	穩	特逆	逆	逆+穩	逆
2014/03/08	--	特穩	逆+穩	逆+穩	逆	逆+穩	逆+穩	逆+穩
2014/12/15	逆+穩	穩	穩	逆	逆+穩	逆+穩	逆	逆
2014/12/19	穩	穩	逆	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆	逆
2015/01/13	逆	逆	逆+穩	逆+穩	逆+穩	穩	穩	逆+穩
2015/03/03	逆+穩	逆	逆	逆	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆
2015/03/06	逆	逆+穩	穩	穩	逆	逆+穩	逆+穩	逆
2015/03/27	逆	穩	穩	穩	逆	穩	逆+穩	逆+穩
2015/11/29	逆+穩	逆	--	逆	逆+穩	特逆	逆	逆+穩
2015/12/02	逆+穩	穩	穩	穩	逆+穩	逆+穩	逆+穩	逆
2016/02/19	逆	逆	--	穩	逆+穩	逆	逆+穩	逆+穩
2016/02/22	穩	逆+穩	逆	逆+穩	逆+穩	逆	逆	逆
2016/02/27	逆+穩	穩	--	特穩	逆+穩	逆	逆+穩	逆
2017/01/12	--	逆+穩	穩	逆+穩	逆	特逆+穩	逆	逆
2017/01/18	逆	逆+穩	逆	逆+穩	逆+穩	特逆+特穩	逆+穩	逆+穩
2017/03/01	逆+穩	穩	逆+穩	逆+穩	逆+穩	特穩	逆+穩	逆+穩
2017/03/13	逆	穩	穩	逆	逆+穩	逆+穩	穩	特穩
2017/03/18	穩	穩	--	逆	逆+穩	穩	逆	逆

#### (二).來自大陸的冷鋒系統

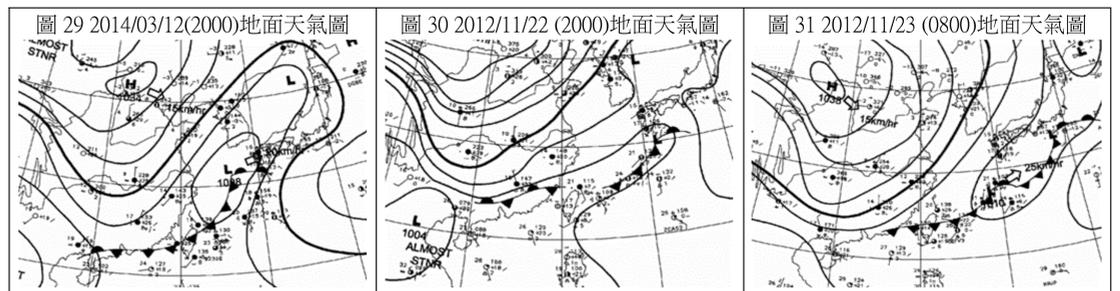
##### 1.鋒前以「高積雲」為主(層狀高積雲，簡稱 ACS)

2013-2-18、2013-2-27、2013-11-24、2013-12-9、2014-1-8、2016-12-22、2017-3-31 這 7 次的冷鋒來臨當天及前二天，天空以出現 ACS(圖 27、28)為主。而且，我們發現一個有趣的現象，就是出現 ACS 的鋒面，通過台灣的方式，幾乎都是以「遠離低壓中心 L 那一端」通過(圖 26)。



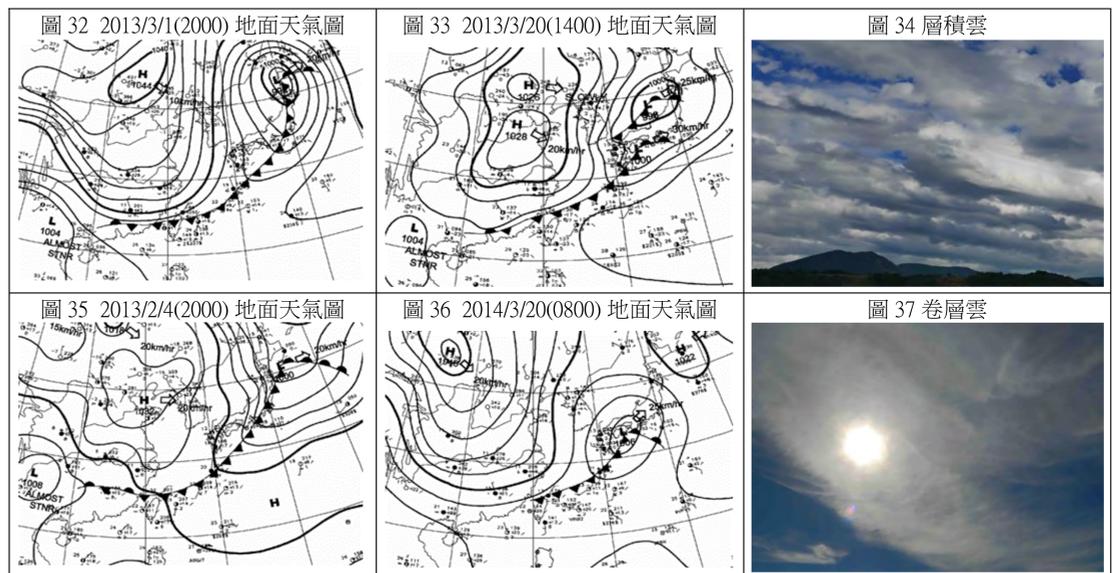
##### 2.鋒前以「高層雲」為主

2012-11-23、2012-11-26、2012-12-1、2013-4-5、2014-3-4、2014-3-12 這六次的冷鋒來臨當天及前二天，天空以出現高層雲為主。鋒線通過台灣的方式有二種：(1).鋒線中段通過台灣(圖 29)；(2).鋒線來台灣前先斷成二截，到台灣時又接連成一線(圖 30-31)。



##### 3.鋒前以出現「層積雲」為主

2013-3-1、2013-3-13、2013-3-18、2013-3-20、2013-3-30 這五次冷鋒來臨當天及前二天，天空大多以出現層積雲(圖 34)為主。我們發現層積雲的出現似乎和鋒面來到台灣的密集度(鋒面和鋒面之間的時間間隔)有關—台灣剛好位於二個鋒面之間的過渡區。最典型的例子是 2013-3-1(圖 32)和 2013-3-20(圖 33) 這二天的鋒面。2013-3-1 這一次鋒面來臨前二天有一道冷鋒通過，所以鋒面前第二天(指 2/27 那一天)整個天空都以層積雲為主；而 2013-3-20 這一次的鋒面，情況也類似。



[討論] 來自大陸的冷鋒難道只有你們上面所講的三種類型？

### 陸、結論

- 1.我們發現：『當卷雲雲況通過 AL<sub>1</sub> 門檻(且沒有發生 Ci-Cc 爆量抑制效應)，若當時天空的總雲量 ≥ 4 時，則 6 小時後，大多會轉變為陰天(總雲量 ≥ 9)，預測成功機率為 96%。』我們把這個規則叫做「AL-4 法則」。
- 2.我們發現：『當卷雲雲況通過 AL<sub>1</sub> 門檻時，若 3 小時之內有伴隨濃積雲的發展，不管卷雲出現當時天空總雲量多少，6 小時後天氣一定會轉變為陰天(總雲量 ≥ 9)，有效預測機率為 100%。』我們把這個規則叫做「AL-Ccon 法則」。
- 3.關於卷雲和下雨預測之探討，我們發現了一個十分有力的規則：『當卷雲出現時，若符合 AL<sub>1</sub> 門檻、且同時有濃積雲自由向上發展(上層沒有「強穩定層」阻擋它往上發展的趨勢)，則埔里地區 8 小時之內都會下雨，有效預測機率達 100%。』我們把這個規則叫作「AL-FC 法則」。
- 4.若將 AL-FC 和「CAPE、風切、水汽含量」互相搭配，更可以用來預測主要降雨區雨量大小。
- 5.我們發現若要用雲況來預測冷鋒鋒面的到來，首先必須把「台灣低壓-冷鋒系統」和「來自大陸的冷鋒系統」分開來研究。
- 6.我們發現在台灣低壓形成的前三天之內通常有大量層狀高積雲發生；其次，我們發現了二個現象：(1).在台灣低壓形成的三天前，一定會發生強逆溫層；(2).這種能強烈阻止空氣塊往上發展的穩定層(強逆溫或特強穩定層)通常會持續到台灣低壓形成的當天。
- 7.我們發現來自大陸的冷鋒當中，有三種類型是可以用雲況來加以確定的：  
(1).鋒前以出現「高積雲」為主。(2).鋒前以出現「高層雲」為主。(3).鋒前以出現「層積雲」為主。

### 柒、未來展望

### 捌、參考資料