

雷射雲幕儀應用於台灣各地貌之混合層高度連續監測

呂佳穎¹ 林博雄¹ 李育棋² 游志淇²

¹ 國立臺灣大學大氣科學系 ² 中央氣象局

摘要

國內外對大氣邊界層都投入觀測策略以及應用研究，比如利用氣球無線電探空儀(radiosonde)配合 Holtzworth 方法推估當地混合層高度最為環工界使用，遙測方法如聲波雷達(SODAR)以及 RASS，以及氣膠光達(aerosol Lidar)，也是常見的觀測工具，天氣數值模式也發展各種邊界層參數化方法，以及輸出邊界層高度參數做為中小尺度天氣研究以及提供大氣擴散模式的輸入參數之需求。美國海洋大氣總署(NOAA)提倡運用機場天氣守視的雲幕儀(ceilometer)資訊來做為美國各地大氣邊界層連續觀測網的概念。本研究發展透過臺灣大學大氣科學系 Vaisala CL31 Ceilometer Lidar 雲幕儀數位訊號，透過和 RCEC LIDAR 同地觀測比較加以驗證，之後利用 CL31 訊號梯度分析法進行自動判斷混合層高度之邏輯，最後將該方法溯及過去 2 年(2013~2015)期間 CL31 Ceilometer 在台灣各地城市、海濱與山區的短期觀測結果，做為台灣地區各種地貌大氣混合層發展的應用參考。

一、 前言

大氣邊界層(Atmosphere Boundary Layer，簡稱 ABL)是大氣層中離地表最近的一層，ABL 受到地面熱力以及植被與建築物對風場的動力干擾，使得 ABL 內的氣象因子(溫度、濕度、風速等)在此層會有特殊的剖面。在 ABL 中，懸浮微粒或是從地面排放的汙染物受熱力或動力作用影響，而使物質可擴散或向上傳送的高度受到限制。物質因擾動造成的擴散和向上傳遞可到達的最大高度，被稱之為混合層高度(Mixing Layer Height，簡稱 MLH)，MLH 變動範圍可從離地幾十公尺到幾公里，且由太陽加熱的能量被地表吸收後再向上釋放紅外線改變了近地面溫度剖面進而影響到 MLH 的高度，讓 MLH 的高度會有明顯的日日夜變化，並因地表性質的不同造成 MLH 的高度變化也不盡相同。由於大多數人們都生活在邊界層大氣中(地表向上至約 1km 高)，並且人口密集的都市也是大多是汙染物的主要排放源，當混合層高度偏高時，汙染物可擴散的空間越大，汙染物濃度較低；反之，當混合層高度偏低時，汙染物可以擴散的垂直空間小，當汙染物濃度升高，對於健康影響的疑慮也隨之升高，因此

大氣混合層高度一直是局地污染物擴散研究與監測的重要因子。

台灣過去的混合層研究的無線電探空儀的探空資料推測混合層高度的方法，經常以中央氣象局板橋或是花蓮兩個局屬探空測站的探空儀觀測資料搭配 Holtzworth 法加以計算 MLH(黃等，2012)。但經由單一測點的氣球探空(台灣地區施作時間是 08:00 LST 和 20:00 LST)，應僅能代表小範圍區域的即時大氣邊界層特徵。

相較於一天兩次的無線電氣球探空觀測，雲幕儀只要設置地點有穩電源供應便可進行 24 小時不間斷觀測；此外，它也可以機動移動到不同觀測地點(比如山區、海邊、城市)，過去 3 年期間臺灣大學 CL31 雲幕儀已經在不同地區進行短期觀測，之後在第三節會簡單呈現在台灣各地城市、海濱與山區的短期觀測結果。

二、 雲幕儀和 Lidar 同步比對

為了確認 CL31 在混合層高度標定的準確性，我

們安排該套設備與 RCEC Lidar 進行同地觀測比對實驗，以了解兩種儀器對於氣膠或是含水粒子偵測異同或敏感性，比對日程是 2013 年 12 月 28 日至 2014 年 1 月 27 日一個月時間長度。比較結果如圖 1，兩者皆是以取 \log_{10} 後的訊號做圖，此處列出 2013 年 1 月 1 日和 1 月 8 日之同步觀測結果，從圖上顯示兩者在訊號反應較強處皆有一致性，如有雲處雲幕儀為橘色，LIDAR 為紅色。但相較起來雲幕儀在中午會受到太陽影響而有明顯雜訊，這也使得在之後若要利用訊號值做計算時必須利用滑動平均來降低雜訊的影響。而 LIDAR 因其功率較強而使得底層物質的訊號較雲幕儀來的清晰。另外兩者在雨的判斷似乎有些不同，像是 1 月 8 日雲幕儀雲層高度位置都和 LIDAR 相同，底下的訊號大小兩者卻有些差異，主要因和其波段被水吸收和背向散射的比例有關。在這樣同步觀測的比較過後，我們確定了雲幕儀的可用性。

三、 CL31 訊號梯度分析法

本研究中因雲幕儀會陽光影響而使得高層在中午會有明顯的雜訊，我們參考 Münkel(2007) 中先將訊號做 30min 和 160m 的滑動平均後，再利 gradient method 與下列的一些限制，來標定混合層高度：

1. 二次微分上下層異號
2. 一次微分值小於 $-0.3 \times 10^{-4} \times (10^6 * \text{srad} * \text{km})^{-1}$
3. 該層背向散射係數訊號值小於 $0.02 \times (10^6 * \text{srad} * \text{km})^{-1}$

另外需要注意的還有雲幕儀的觀測在 50m 底層有不連續觀測雜訊，因此在進行混合層判定時我們將最底層設在 150m。我們用以上方法找尋離地面向上前兩個符合標準的高度，當做混合層可能的高度，會找尋兩層是因為我們在實際使用後發現，在夜間常有上下分層的情況，找尋兩層的情況便可以有利於我們了解夜間殘餘層和其下近地面的穩定邊界層的變化情況。

為了確認這一方法和汽球探空觀測判定的差異程度，我們在 2014 年 9 月和 2015 年 1 月都曾將雲幕儀放在板橋探空測站進行一段短期觀測，並利用 Wang et al.(2014) 提出的判斷混合層高度的方法將每次板橋探

空的混合層高度計算出後和雲幕儀結果比對，發現 R^2 值都有 0.80 以上(圖 2)。

四、 各地的短期觀測 MLH 結果

本章將依過去三年臺灣大學 CL31 雲幕儀所曾觀測的地點環境加以分類，區分成四小節來討論各地混合層高度短期觀測結果，本次先就各地的晴空情境來舉例和比較。

4.1 都市情境

4.1.1 台北三重地區

觀測期間：2012 年 11 月 9 日到 2013 年 1 月 8 日。台北盆地冬季期間多受到東北季風和鋒面影響，因此這兩個月期間雲幕儀訊號可判斷約有 50% 資料受到降雨影響而使得混合層高度判斷不可行。剩餘 50% 資料可用情況下我們可以區分成(1)晴空(2)多時有低雲(2000m 以下)(3)上層有雲(2000m 以上)等三種天空情境。晴空的情況在本研究都是泛指 2000m 以下，一天小於 6 小時的時間有雲出現，如 11 月 14 日(圖 3a)，14 日 6:00 LST 後 MLH 從 200m 到正午最高的 1400m，之後逐漸下降後在分成高層的殘留層(~1000m) 和底層穩定邊界層(~300m)。

4.1.2 高雄澄清湖地區

觀測期間：2013 年 1 月 20 日到 1 月 28 日。相較台灣北部冬天潮濕多雨的天氣情境，台灣南部高雄地區冬季天氣相對穩定，因此每天的混合層高度相對也較明顯。我們區分為(1)晴空(2)有低雲的兩種情境。晴空如 1 月 28 日(圖 3b)，這三天都是在 12:00 LST 以後混合層高度才向上提高，到約 6:00 LST 時大概發展到最高(1000m~1500m)，然後在晚間明顯分層，上方可能是殘餘層(1000m)，下方則是穩定邊界層(300m)。

4.2 郊區情境(埔里鎮)

觀測期間：2013 年 3 月 2 日至 4 月 30 日。這兩個月中大概有 10 天受降雨影響較無法看出混合層高度，另外還有幾天有霧的情形發生，如 3 月 3 日整天和 4 月 15 日清晨。接著我們分為(1)晴空、(2)日

出前有霧和(3)有雲這三種情況。晴空如 3 月 9 日(圖 3c)，3 月 9 日在太陽升起前可以看到很明顯的上下分層，上層殘餘層約在 800m，下層的穩定邊界層約 200m，日出後混合層則隨著逐漸變高到 1300m，直到日落後混合層高度下降後轉為殘餘層，高度約在 400m，而 200m 以下也有一個較小的梯度分層(穩定邊界層)。

4.3 海濱：

4.3.1 苗栗苑港

觀測期間：2014 年 2 月 9 日到 2014 年 3 月 20 日。大部分時間為冬季型態的氣候(多受大陸冷氣團和東北季風影響)。除了有 5 天受降雨影響，其他時間苑港多分成兩種情況：(1)晴空(2)一天長時間在 1000m 以下有一層低層雲。晴空的時候如 2 月 20 日(圖 3d)，大致混合層高度都在 600m 以下，中午無明顯發展。

4.3.2 台中市梧棲

觀測期間：2014 年 4 月 23 日至 6 月 23 日。雖然地點只和苑港相差約 35km，但和苑港不同的是梧棲有穩定層雲覆蓋的情況反而不多，當然也有可能是因為觀測時間不同，而綜觀環境改變使得有穩定層雲的時間不多，降雨的天數也較多。我們就分兩種情況討論，(1)晴空(2)有雲時多有短暫雨。晴空時如 5 月 25 日(圖 3e)，混合層高度大都在 400m 以下，中午發展不明顯，猜測是因為此地風速較大而使得物質不容易穩定分層(訊號看起來也較弱)。

4.4 山區

4.4.1 南投縣竹山鎮臺灣大學實驗林溪頭營林區

觀測期間：2013 年 9 月 10 日至 11 月 7 日。此月雖在太平洋上有 6 個颱風生成，但對台灣都無直接影響，僅 6 日、7 日受到菲特颱風及其外圍環流影響，其他時間僅東北部較易受東北季風影響，對溪頭山區綜觀環境影響並不大。溪頭清晨和午後偶爾有霧，且大多數雲高都小於 1500m，中午較少有發展。推測是受限於山地水氣相對較少，從訊號看來大多時間也比其他地區弱。我們大致可以分成三種型態：(1)晴空、(2)多時

低雲、(3)霧(午後生成)。

晴空的情況如 10 月 31 日(圖 3f)，清晨和晚上無明顯殘餘層，中午混合層從 8 點開始向上發展至約 800m，12:00 LST 後訊號增強可能和谷風帶上來的水氣有關。

4.4.2 南投縣和平鄉臺灣大學山地農場春陽分場

觀測期間：2013 年 5 月至 8 月。主要為夏季氣候型態，因此有三分之一的比率因山區午後對流降雨而影響混合層判斷。另外，春陽和溪頭不同，較看不到霧的訊號(連續時間貼進地面的訊號較強區塊)。除降雨外多分成兩種型態：(1)晴空、(2)午後有雲。晴空的狀況如 6 月 1 日(圖 4)，大部分在晚間看不到明顯殘餘層，午間發展不明顯，推測同樣受谷風影響，午後谷風帶來的水氣造成較強的訊號。

五、 結論與未來展望

我們將一些從雲幕儀觀測得出的特性整理於表 1，這些特性大部分對混合層的判斷會有影響，分別是在晴空時個案之混合層平均高度(日出至日落時)和標準差，殘餘層和穩定邊界層是否明顯分離(有無殘餘層)、多數 4000m 以下有雲時的高度，以及有雲出現的時間、有霧出現的時間。最後則是晴空時底層物質的背向散射訊號強度，和一般認知相同，地表排放物質(汽機車、工業)越多的區域，底層訊號也有越大的趨勢(和 Muenkel(2007)的研究有一致的結果)。

在今年年初的 AMS 2015 年會上，NOAA 和 FAA(Federal Aviation Administration)合作(Hicks et al.,2015)，想利用全美各機場的雲幕儀來達成不間斷的大範圍混合層高度觀測、追蹤空氣汙染擴散情形、記錄雲底高度等並結合這些資訊來做及時預報。圖 4 為台灣機場的分佈圖，大多分佈在沿海與島嶼上，若是我們可以利用這些位置設有的機場雲幕儀觀測搭配可以自動判斷混合層高度的程式，那我們便可以做類似於美國 NOAA 想做的大面積混合層高度觀測網，來提供模式或是環工界來參考和利用。

參考文獻

黃隆明、張台聖，2012：“混合層高度簡易估算法之探討”，水土保持學報 44(3) ，231–250。

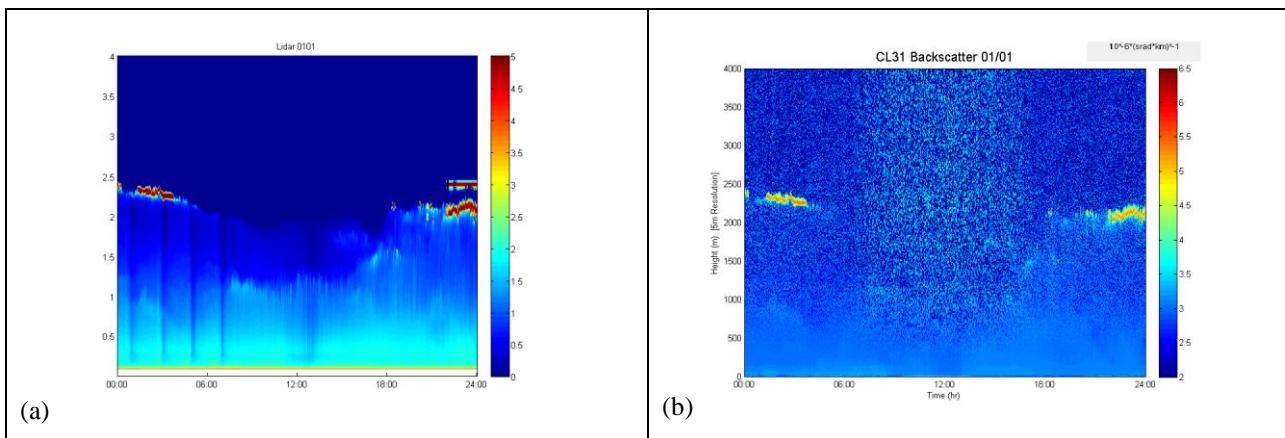
Hicks M., D. Atkinson, B. B. Demoz, K. C. Vermeesch and R. Delgado, 2015: The National Weather Service's Ceilometer Planetary Boundary Layer Project. Seventh Symposium on Lidar Atmospheric Applications. 4-8 Jan., Phonex, Arizona.

Münkel, C., N. Eresmaa, J. Räsänen, and A. Karppinen, 2007: Retrieval of mixing height and dust concentration with lidar ceilometer. *Bound.-Layer Meteor.*, 124, 117–128.

Wang, X. Y. and K. C. Wang, 2014: Estimation of atmospheric mixing layer height from radiosonde data, *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 1701-1709, doi:10.5194/amt-7-1701-2014.

表 1：不同地貌之雲幕儀觀測特性整理

	都市	郊區	海濱	山區
殘餘層	有	有	不明顯	不明顯
雲出現時間	整天(冬季)	不定	整天(苑港冬季)	多午後
霧出現時間	無	多清晨	無	多午後
底層訊號強度(晴朗時)	較大	中	中偏小	較小
晴空時混合層平均高度 (標準差)	1.三重 11/14 1108.1m (334.6m) 2.高雄 1/28 917.9m (415.6m)	埔里 3/9 996.9m (316.3m)	1.苑港 2/20 838.9m (218.9m) 2.梧棲 5/25 355.2m (148.4m)	1.溪頭 10/31 342.0m (190.9m) 2.春陽 6/1 416.9m (204.5m)



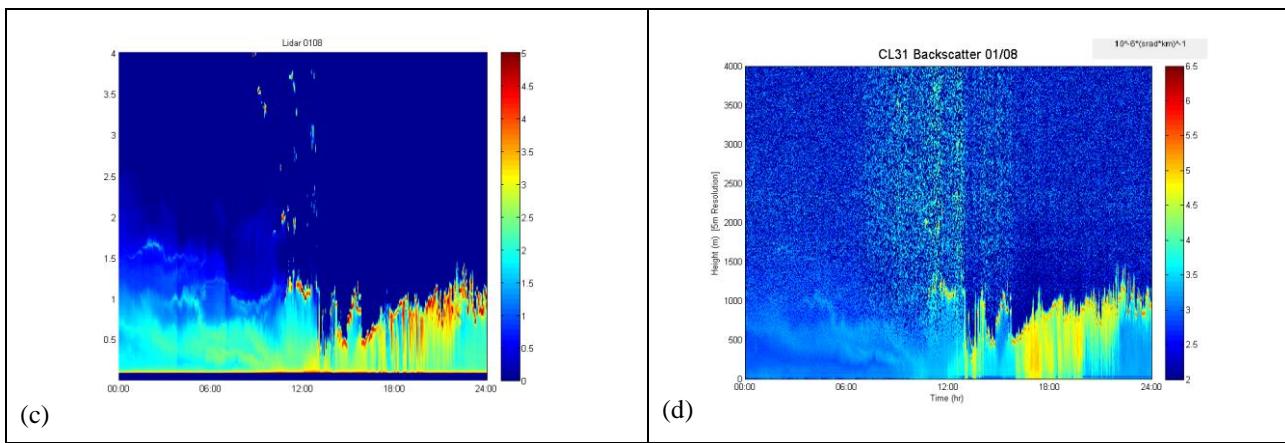


圖 1：2013 年 1 月 1 日和 1 月 8 日的(左)LIDAR 和(右)CL31 雲幕儀的訊號比對圖，x 軸為時間，y 軸為 0~4000m 離地高度。

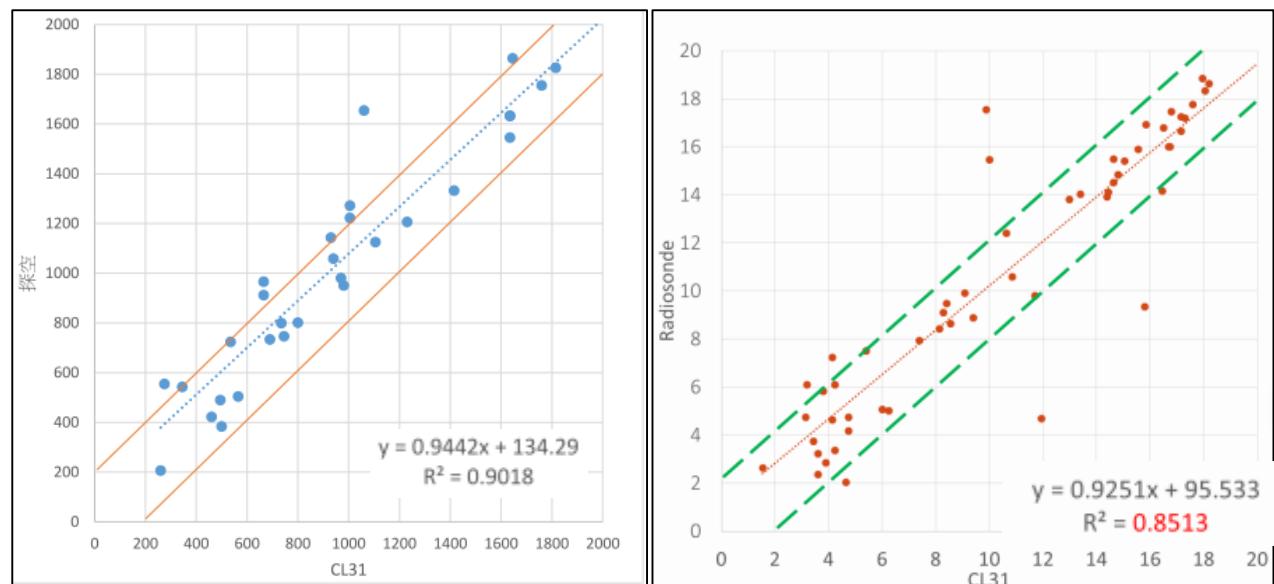
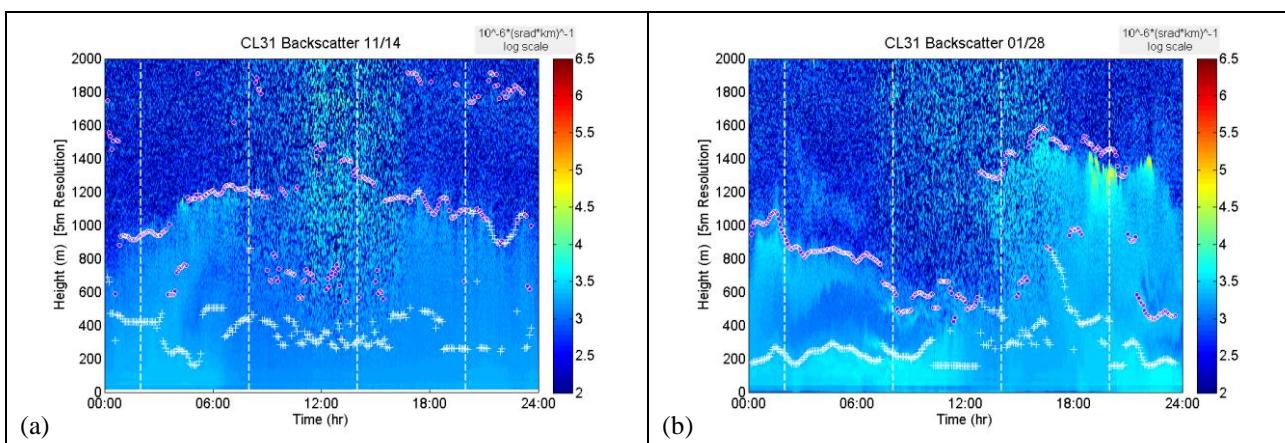


圖 2：板橋密集觀測比對(左)2014 年 9 月(右)2015 年 1 月之散佈圖。



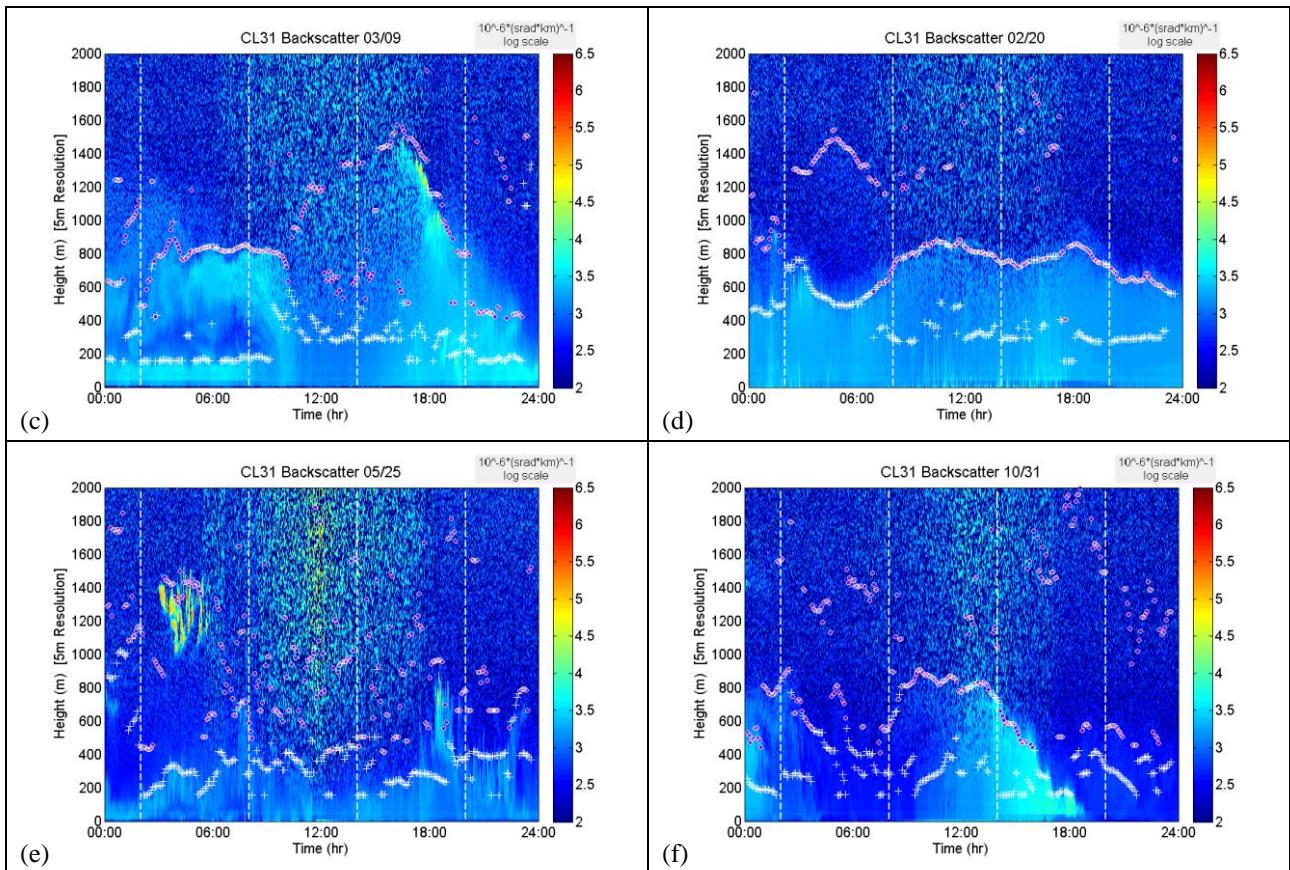


圖 3：(a)2012 年 11 月 14 日於三重之雲幕儀觀測、(b)2013 年 1 月 28 日於高雄之觀測、(c)2013 年 3 月 9 日於埔里之觀測、(d)2014 年 2 月 20 日於苗栗苑港之觀測、(e)2014 年 5 月 25 日於台中梧棲之觀測和(f)2013 年 10 月 31 日於溪頭之觀測(圖上之標點為符合第 3 節所敘述的兩層)。

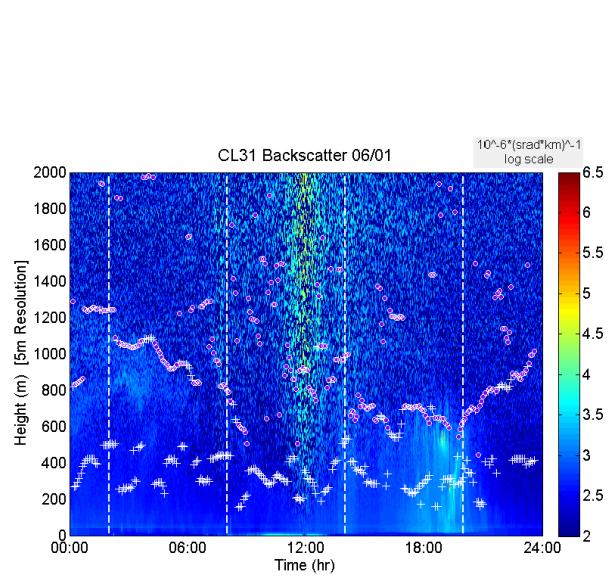


圖 4：2013 年 6 月 1 日於春陽之觀測。



圖 5：台灣航空站分佈圖，橘點為有設置雲幕儀的機場位置。