

2018 年 04 月 06 日鋒面過境個案分析

曾德晉、張培臣、陳錦輝、任亦偉
空軍氣象聯隊

摘要

2018 年 04 月 06 日一鋒面系統逐漸向臺灣接近，約在 01Z 時，鋒面雲系觸及新北市的金山地區，整體鋒面雲系往南移動，約在 08Z 至 09Z 時通過綠島地區，鋒面移動速度約為 40km/hr。

另外從可見光雲圖上，可以清楚辨別出鋒面雲系在移動過程中，其前緣有明顯的線狀雲領先鋒面系統並在臺灣東西兩岸呈現高度不一的現象，這樣的現象和劉等(1993)及紀與劉(2017)提及索狀雲產生機制源自於密度流情況相同，本文利用空軍氣象聯隊 106 年建置的北、中、南及東 4 具剖風儀分析該線狀雲接近及通過後的風場垂直演變，其中北部松山及東部花蓮在鋒面過境時，風場轉變及冷空氣增厚現象與典型鋒面過境無異，中部清泉崗及南部屏東剖風儀則是受到海陸風及午後對流影響，在垂直風場上有紊流情況，最高達 3,000ft。

關鍵詞：索狀雲、密度流

一、前言

自古詩詞雅仕常藉由天氣現象表述情感的一種方式，例如唐代杜甫「茅屋為秋風所破歌」所提八月秋高風怒號卷，卷我屋上三重茅，俄頃風定雲墨色，秋天漠漠向昏黑，床頭屋漏無干處，雨腳如麻未斷絕。其意境表示快行冷鋒猛勢，過境時有大風伴隨厚實雲層，鋒面過境後大雨天氣(出自唐代杜甫茅屋為秋風所破歌摘錄自阿波羅新聞網 2014-10-11 古詩地理讀)。

而關於鋒面結構和其伴隨的天氣現象，在 21 世紀是一種科普教育。主要是觀測儀器的長足進步，與長期的天氣現象統計結果再加上國內外學者研究和電子資訊快速傳播下，讓氣象理論生活化於一般大眾。中央氣象局對於鋒面的定義有明確的表述就是性質不同之冷暖兩氣團相遇，在其交界處為一不連續面，稱之為鋒面。而此鋒面兩側有溫度、濕度、風及天氣現象等明顯差界。實際上鋒面為一過渡地帶，其寬度通常有數公里仍至數十公里不等。當冷空氣前進迫使暖空氣後退並取而代之，此時之鋒面稱之為冷鋒，如圖 1 所示。

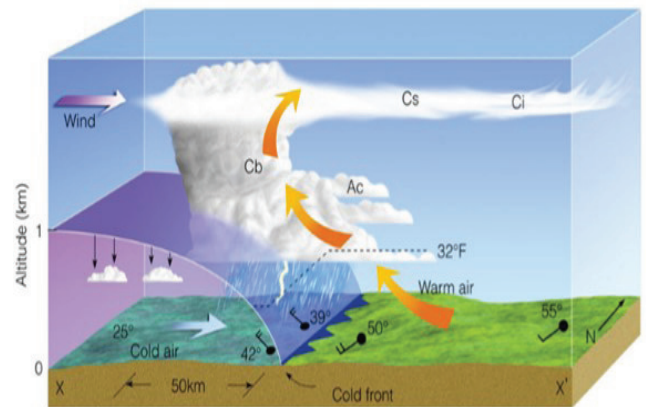
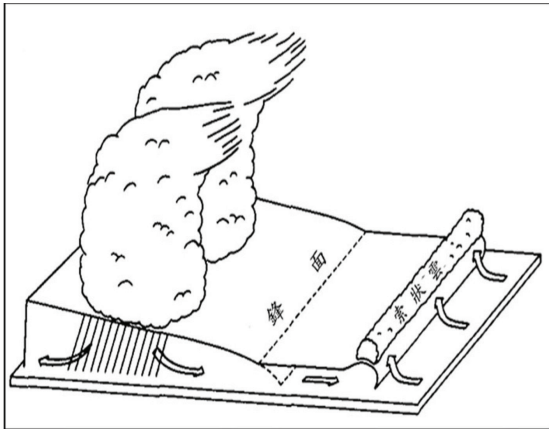


圖 1 冷鋒移動前後風向、風速、溫度、天氣現象及雲系等不連續情況，而鋒面過度帶上，水平與垂直方向比率為 1:50km，32°F 代表 0 度線。

摘錄自 www.atmo.arizona.edu

而本次探討個案中，其鋒面移動及天氣變化恰如杜甫詩詞中所述情況類似，而其鋒面前緣雲層變化與鋒面過境時，因密度流影響下，其冷鋒前緣偶爾會出現一條雲線稱之為繩索雲(Rope Cloud)劉等(1993)，而紀與劉(2017)於 2014 年 5 月 5 日，針對臺灣南端狹而淺的索狀雲，討論其肇生機制源自於低層溼空氣被冷鋒抬升所致，而臺灣東西兩側索

狀雲東側較強，西側較淺亦與本文雲系分布情況相似。此次鋒面過境由北向南移動，東部雲系較西部雲系強的情況，藉由北(松山)、中(清泉崗)、南(屏東)及東部(花蓮)雷射式剖風儀進行風場資料分析與探討。



索狀雲形成機制概念模發(摘自Seitter and Muench, 1995)

圖2 鋒面抬升低層潮溼空氣，生成索狀雲，摘錄自Seitter and Muench, 1995。

二、個案分析

由左至右，由上至下分別表示為 107 年 4 月 6 日全臺累積雨量分布情況，在圖 3(a)中表示 4 月 6 日 00 至 09 時全臺累積量，在早上 9 時前，全臺無累積雨量分布，直至 00-10 時(如圖 3(b))，新北市金山地區一帶開始有累積雨量分布。至圖 3(d)時，東部開始出現累積雨量並持續向南分布。圖 3(e)至 3(h)西南部臺南及屏東山區開始出現累積雨量，圖 3(i)至圖 3(l)東半部累積雨量持續南向分布，然而屏東山區累積雨量範圍持續擴大，但仍以山區為主要區域。

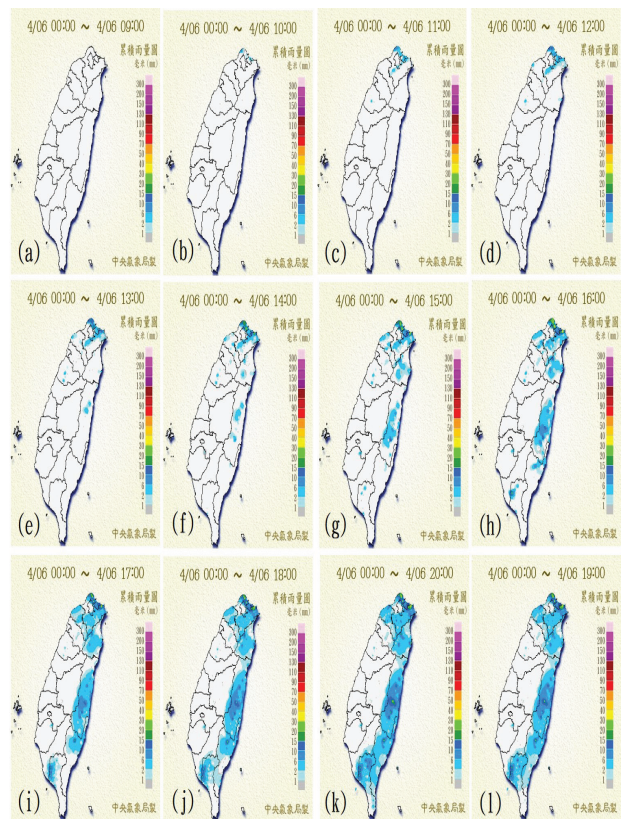


圖 3 由左至右，由上至下為 4 月 6 日 9 至 19 時全臺累積雨量逐時分布圖，累積雨量由北向南分布，東部兩區範圍較西部大，圖中右邊色階表示累積雨量值對應值。

由 4 月 5 日 18Z 東亞地區地面圖(如圖 4(a))分析得知，低壓中心位於對馬海峽一帶，冷鋒自此中心向西南延伸經臺灣海峽北部至雲南地區，臺灣地區位於鋒前暖區呈偏南向風情況。圖 4(b)為 4 月 6 日 00Z 地面圖，原位於對馬海峽之低壓中心已東移至日本海，冷鋒自此中心向西南延伸經臺灣北部洋面至雲南一帶，臺灣仍處於偏南向風情形。4 月 6 日 06Z 地面圖(如圖 4(c))所示，低壓中心已東移至本州一帶，冷鋒自此中心向西南延伸經臺灣地區至廣東外海，臺灣地區風場屬於偏北風系。至圖 4(d)時，位於本州一帶之低壓中心緩慢向東移動，冷鋒由該中心向西南延伸經巴士海峽至南海一帶，大陸地區高壓南壓之氣壓梯度已明顯抵達臺灣，臺灣周邊轉為北向風系。

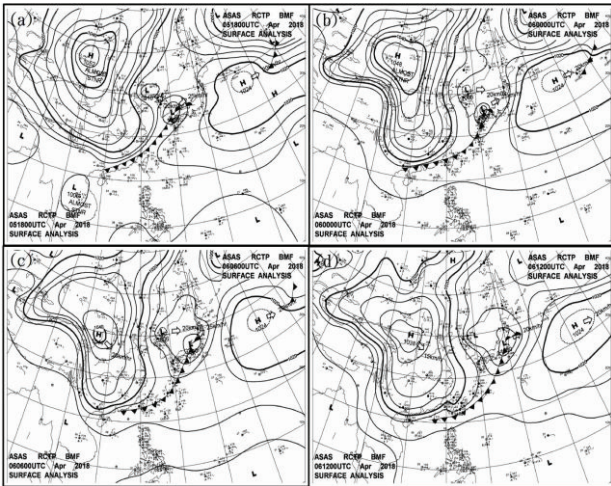


圖 4 (a)、(b)、(c)及(d)分別表示 107 年 4 月 5 日 18Z 至 6 日 12Z 地面天氣圖。地面圖顯示鋒面系統逐漸通過臺灣地區，H 表示高壓、L 表示低壓、粗黑色實線及實心三角型和半圓型分別為冷鋒及暖鋒、黑色細線表示等壓線。

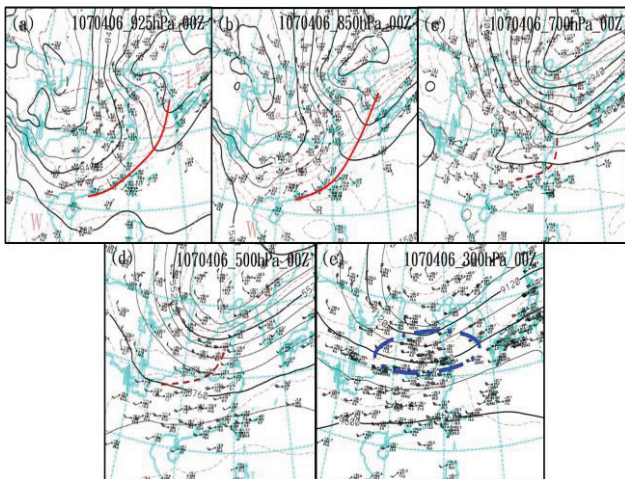


圖 5 (a)、(b)、(c)、(d)及(e)分別為 4 月 6 日 00Z 925、850、700、500 及 300hPa 高空圖。臺灣位處槽前天氣，黑色實線為等高線、紅色實線為鋒面、棕色虛線為槽線及藍色段線為強風軸線區域。

圖 5(a)為 4 月 6 日 00Z 925hPa 高空圖，低壓中心位於日本海地區，溫度梯度密集區(紅色虛線)與相對溼度高區域均位於華南一帶，其風場為北向風，臺灣地區則為南向風系；圖 5(b)為 4 月 6 日 00Z 850hPa 高空圖，圖中溫度梯度密集區域及高相對溼度區域與

同時段的 925hPa 高空圖配置相似，臺灣地區屬偏南向風系。在 4 月 6 日 00Z 700hPa 高空圖中(如圖 5(c))所示，臺灣位於高空槽前，華南一帶有較為明顯的相對溼度區分布，而溫度梯度密集區域則位於近華中一帶。在圖 5(d)中，6 日 00Z 500hPa 高空圖表示槽線系統位於華中一帶，其距離臺灣較 700hPa 空層更遠。圖 5(e)表示為 300hPa 高空圖情況，從圖中可以發現槽線位於華北一帶，而高層噴流軸位置卻分佈於華中地區。

從 4 月 6 日 00Z 可見光雲圖(圖 6(a))可以發現，臺灣地形的輪廓非常明顯，而厚實雲層位於臺灣北部洋面，至 01Z 時(圖 6(b))，鋒面雲系已觸及北部的金山地區，在 02 至 05Z(如圖 6(c)至圖 6(f))，鋒面雲帶挾伴的雲線結構逐漸清晰，且向南移動並且陸續通過新竹、花蓮及清泉崗機場。另外在臺灣東西兩側的雲線，其北面覆蓋明顯雲層，南面則近乎無雲情況。06 至 07Z 時(如圖 6(g)至圖 6(h))時，嘉義至臺南與屏東山區開始有雲系發展，而鋒面挾帶之雲線位速度減緩近似滯留在臺東至臺南一帶。至 08 及 09Z 時(如圖 6(i)至圖 6(j))，鋒面挾帶之雲線持向南移動，臺灣東部洋面至臺東地區之雲線結構仍可清楚辨別，位於臺灣西南部之雲線結構已呈現模糊情況，估算此鋒面自金山向南移動至綠島地區速度約為 40km/hr；另外運用密度流(density current)速度方程。

由圖 7(a)，00Z 板橋探空資料發現，雲底層發展約集中 1,500ft，底層至高層為南至西向風，至 12Z 時，850hPa 以下為北向風場，820hPa 以上為南至西向風，風場由底層至高層有冷平流南下影響，逆溫高度自 900 至 700hPa 並含有高溼度場，雲層發展高度亦在此空層之中變化。

在圖 7(b)中，00Z 花蓮探空資料得知，自地面往高層風場呈現順轉情況，850hPa 以上有沉降逆溫現象，較明顯的溼度空層及厚實雲層可發展高度約分布於 6,000ft。至 12Z 時，近地表風場轉為北向風，風場呈現逆轉情況，950 至 700hPa 有鋒面逆溫變化，大氣為近飽和狀態情況與晚間板橋站探空資料相似，雲底高度向下發展至 1,500ft。從圖 7(c)

中，00Z 時，馬公探空資料分析得知，沉降逆溫發展高度約在近 800hPa，至 12Z 時，風場呈現逆轉情況風速顯著增強，950 至 850hPa 有鋒面逆溫分布，該高度內大氣環境呈現飽和狀態。

在圖 7(d)00Z 時，屏東地區近地表與 830 至 800hPa 受沉降逆溫影響，大氣環境為偏乾燥狀態，風場上為向上逆轉變化，至 12Z 時 850 至 700hPa 大氣轉為飽和狀況，風場隨高度先順轉後逆轉情形。從圖 7(e)綠島探空 00Z 時資料得知，約 850hPa 以上受沉降逆溫影響，大氣環境屬乾燥狀態。12Z 時，強勁的北向風高度達 850hPa，近飽和大氣高度分別集中於近地表與 925 至 850 及 780 至 750hPa 三段空層內，在近 700hPa 以上受沉降逆溫影響，而厚實雲層發展高度除表外，另集中於 1,800ft 以上與 7,500ft 區間。

受鋒面系統南下影響，圖 8 中，松山 6 日 01Z 前均為西風，自 02Z 後轉為東風並開始出現降雨，新竹機場則於 02Z 前為南風，03Z 後轉北風，晚間 13Z 時有最大陣風達 30kt，清泉崗則在 03Z 後有明顯的北風系，最大陣風發生在晚間 14Z，風速達 42kt。在馬公機場約在 05Z 後有顯著的北風，最大陣風約在晚間 1330Z 時，風速達 44kt。花蓮機場在 05Z 後呈現北風狀態，最大風速達 37kt，發生在 0730Z 時，臺東由南向風轉為北向風 09Z 後，最大風速 33kt 在 10Z 時；另從圖 8 中，藉由藍色箭號方向清楚掌握，由北至南風場轉變時序分別為松山、新竹、清泉崗、花蓮、馬公、嘉義及臺東。

由圖 8，我們得知松山機場為本次鋒面過境時，受其影響的第一站，進一步分析此站在各鋒面過境時，各氣象要素變化情況，在圖 9(a)中可以清楚發現溫降發生在早上 9 點至 10 點之間，當日最高溫為 27.8，最低為 13.8，圖 9(b)中相對溼度變化明顯分別發生在早上 7 點至 10 點與晚上 7 點至 10 點，恰巧均為降雨發生前後時段(如圖 8 所示)，其中雨以早上 9 點至 10 點間，相對溼度攀升幅度快速由 64% 達 80%。圖 9(c)中，氣壓值隨鋒面系統過境，氣壓數值緩慢上升，最高達 1024.5hPa，圖 9(d)中明顯的風向轉變及風速上升亦發生在早上 9 點至 10 點之間，而當日雨量變化可從圖

9(e)中得知，無明顯時雨量情況，代表此鋒面降雨多呈雨跡現象。另外參考紀與劉(2017)使用 Seitter(1983)密度流計算方式，溫度升幅間計算相對氣壓差，可得密度流公式如下：

$$V=k*(dp/\text{密度})^{**0.5}$$

密度=1.2kgm⁻³，可得 V=46.4km/hr，與鋒面通過速度相近。

三、剖風儀資料分析

由圖 10(a)北部(松山)剖風儀長時風場資料，並與同日板橋探空 00Z 垂直風場資料得知，在 03Z 時前，近地表至 5,000ft 高度為南至西南風情況，0133Z 至 0135Z 時，自地表的西風系至 2,500ft 西北風系，風場隨高度呈現為先順轉變為逆轉。至 0136Z 時，同樣的高度上，地表為東北風系隨高度逆轉至 1,000ft 換為西北風情況，再隨高度向上逆轉為東北風和西北風情況。0138Z 至 0140Z 期間，地表至 5,000ft 為東北風逆轉為西北風。0141Z 至 0200Z，地表的東風隨高度逆轉至 3,000ft 為西北風。在圖 10(b)02Z 至 03Z，圖中顯示高度 3,500ft 以上無風場資料，以下則為顯著的東風，風速最大達 7 級風情況；另外自 0140Z，東風層發展逐漸增厚，至 12Z 時厚度達 5,000ft 與板橋探空風場觀測結果一致。

圖 10(c)東部(花蓮)剖風儀長時風場資料，並與同日花蓮探空 00Z 垂直風場資料得知，在 0021Z 時前，為離岸風並隨高度順轉變化。至 0124Z 後，近地表開始轉為向岸風，5,000ft 以下逆轉情況愈趨顯著，而這樣的情況一直到 0415Z 後(如圖 10(d))，向岸風風速開始顯著增強，風速達 6 級風以上。另外東風層發展逐漸增厚，厚度可達 5,000ft 與圖 7(b)花蓮探空 12Z 資料相同。

從圖 10(e)中部(清泉崗)剖風儀長時風場資料，在 0028Z 前為離岸風情況，風場隨高度變化上呈現為順轉情況。至 0116Z 前，地表的西南風隨高度順轉呈西北風至北風。0124Z 後，近地表至 5,000ft 高度為西北風情況。另外從圖 10(e)至圖 10(f)，在 500ft 至 3,000ft 高度上，T1、T2、T3、T4、T5、T6、T7 及 T8 分別表示海陸風轉換初期時，紊流發生時段

及高度。從圖10(i)中可以辨別出，當向岸風明顯後，風場隨高度變化為順轉現象，地表風場由西北風逐漸轉為北風且風速由2級風(0205Z前)增強至4級風(0234Z後)。0344Z前(如圖10(j))所示，地表風場隨高度增加，風場轉為順轉情況。之後，1,500ft風速增強至5級風以上，由地表的北風隨高度逆轉為西北風。

屏東地區海陸風轉換時間約在 0205Z 完成離岸風轉為向岸風，同樣也有紊流情況，但不如中部地區明顯(圖未示)。底層在穩定的向岸風吹拂下，在 0720Z 後(如圖 10(k))，地表風場開始出現離岸風，原本自地表西北風至 5,000ft 北風順轉情況，至 0725Z 後有逆轉改變且風場可獲的高度由 5,000ft 開始下降至最低的 2,900ft，甚至在 700ft 至 1,700ft 之間有顯著的風向對吹情況發生圖 10(k)中黑框處，配合圖 8 中 06Z 至 08Z 時，屏東機場觀測資料，降雨及對流雲系在機場附近，並向機場接近最後造成機場上空有雨天氣。在圖 10(l)中，0801Z 時仍有風向對吹情況且風場隨高度呈先逆轉再順轉現象，至 0805Z 至 0840Z 前，地表風場轉為向岸風且風場隨高度順轉變化，0840Z 後，地表風場轉為離岸風並隨高度逆轉；另外屏東異常風速(達 8 級風以上)現象產生頻繁，未來會持續追蹤及紀錄並向法國原廠詢問產生原因，藉由數據化及理論，更進一步運用剖風儀掌握天氣變化。在圖 10(m)0946Z 後，地表風場開始出現向岸風並且逐漸增強，風場隨高度呈現穩定的順轉現象，風場可獲高度逐漸增高，至 1016Z 後(如圖 10(n))，風場高度達 5,000ft 且異常風速現象消失，直至 1138Z 再度發生。

四、結論

此次鋒面系統通過分析結果如下：

- (一)全臺累積雨量分布情況，東部兩區範圍較西部大，降雨現象由北至南，南部山區降雨受午後對流影響。
- (二)由 4 月 5 日 18Z 至 4 月 6 日 12Z 東亞地區地面圖中鋒面漸次通過臺灣地區；從 4 月 6 日 00Z 925hPa 及 850hPa 高空圖，溫度梯度密集區(紅色虛線)與相對溼度高

區域均位於華南一帶，700hPa 高空圖中臺灣位於高空槽前，華南一帶有較為明顯的相對溼度區分布，而溫度梯度密集區域則位於近華中一帶。500hPa 高空圖表示槽線系統位於華中一帶，其距離臺灣較 700hPa 空層更遠。300hPa 高空圖情況，槽線位於華北一帶，而高層噴流軸位置分佈於華中地區；從天氣圖分析可知，在 4 月 6 日 00Z 時，鋒面系統及高空槽線仍位於臺灣西北部，至 12Z 時地面至 850hPa 均已通過臺灣地區，而 700hPa 高空槽線逐漸接近臺灣，配合 12Z 各探空站資訊，鋒面逆溫現象，表示鋒面系統陸續通過臺灣地區，日間為低層鋒面系統影響，夜間轉為 700hPa 高空槽線接近與通過，500hPa 高空槽無直接影響，與紀與劉(2017)年述及低層溼空氣被冷鋒抬升造成索狀雲狀情況類似。

- (三)可見光雲圖上，在臺灣東西兩岸呈現高度不一的現象，這樣的現象和劉等(1993)及紀與劉(2017)提及索狀雲產生機制源自於密度流情況，該鋒面移動速度約為 40km/hr；另外運用Seitter(1983)密度流公式計算得到該雲線移動為 46.4km/hr，略高於鋒面移動速度，為合理情況。
- (四)板橋、花蓮、馬公及綠島6日00Z至12Z的垂直風場演變，板橋、花蓮及綠島日間底層至高層為南至西南風系，夜間轉為東至東北風系；屏東日間至夜間均為北向風系，日間至夜間溼度含量增強，沉降逆溫轉為鋒面逆溫情況北部及東部在鋒面到達後，東風層增厚情況相似。
- (五)松山及花蓮在鋒面過境時，風場轉變及冷空氣增厚現象與典型鋒面過境無異，這樣的變化也與探空資料一致；另外受鋒面雲層影響，間接影響剖風儀的觀測結果。中南部則在海陸風轉換後，發生紊流情況，而這樣的現象較北部及東部明顯，其中紊流最高達3,000ft。

五、未來展望

此次運用北、東、中及南部各地區空間

及時間高解析度的特性，進一步追蹤與分析鋒面過境時風場垂直變化，均有良好的觀測結果，並顯示雲層變化會對剖風儀觀測造成影響，但部份地區(屏東及花蓮)有異常風速產生，後續將持續紀錄及造成原因，並廣續運用不同裝備進行交叉驗證觀測結果，以提升裝備熟稔及開發運用策略。

致謝

本文感謝中國文化大學大氣科學系副教授劉清煌老師撥空指導疑惑之處，並提供相關精美圖資給予本人運用，加強本文圖表美觀及參考運用價值；另外許慎澤的程式解說及使用，使我對於氣象研究所需基礎的工具有更深一層的認識。

六、參考文獻

- 張培臣、任亦偉、呂崇華、曾德晉，2017：雷射式剖風儀與傳統高空探空風場資料特徵之比較分析。空軍氣象聯隊，氣象預報與分析第231期，40-49。
- 紀水上、劉清煌，2017：伴隨鋒面過境臺灣南部近海索狀雲之分析。中國文化大學大氣科學系，大氣科學第45期，1-22頁。
- 曾德晉、劉清煌，2016：2016年06月02日短延時極端降雨個案分析。空軍氣象聯隊、中國文化大學，氣象預報與分析第228期，17-30。
- 曾德晉、劉清煌，2012：臺灣東南部冷季淺對流線分析研究。中國文化大學大氣科學系，氣象預報與分析第221期，8-15頁。
- 劉昭民、柴客麟、林銘作，1993：春季急行冷鋒結構分析。民航局飛航服務總臺，交通部航政司氣象科，天氣分析與預報研討會論文，483-490 頁。

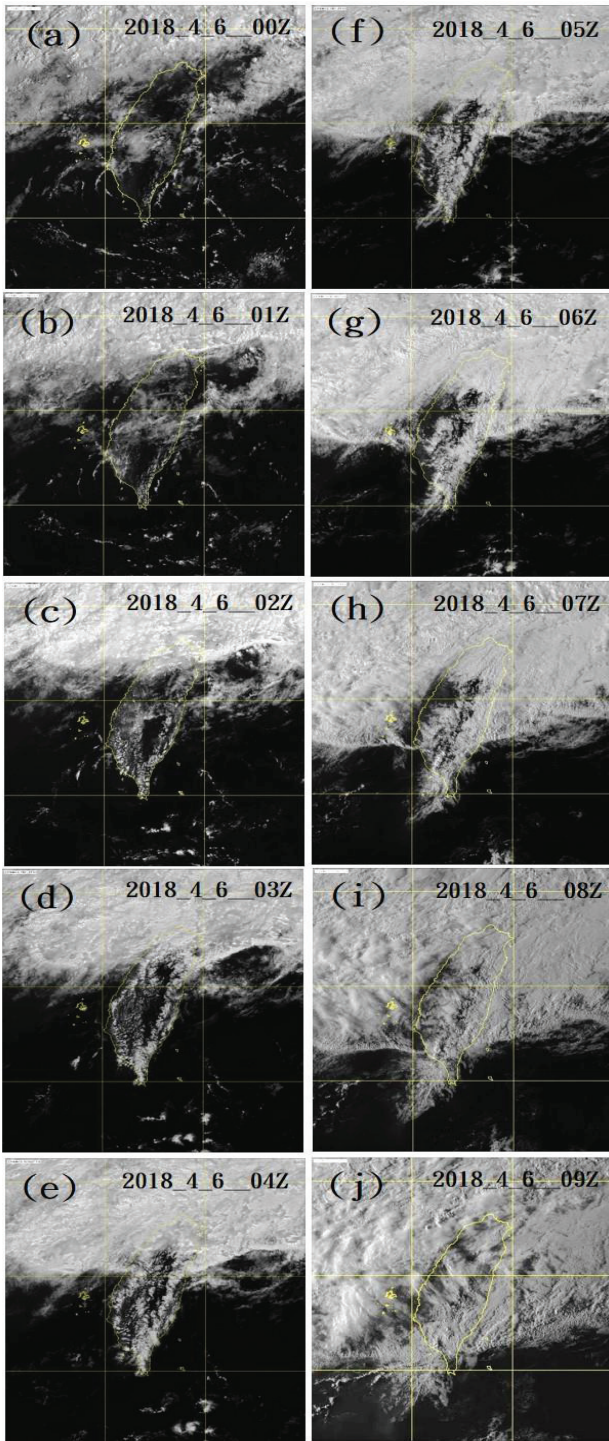
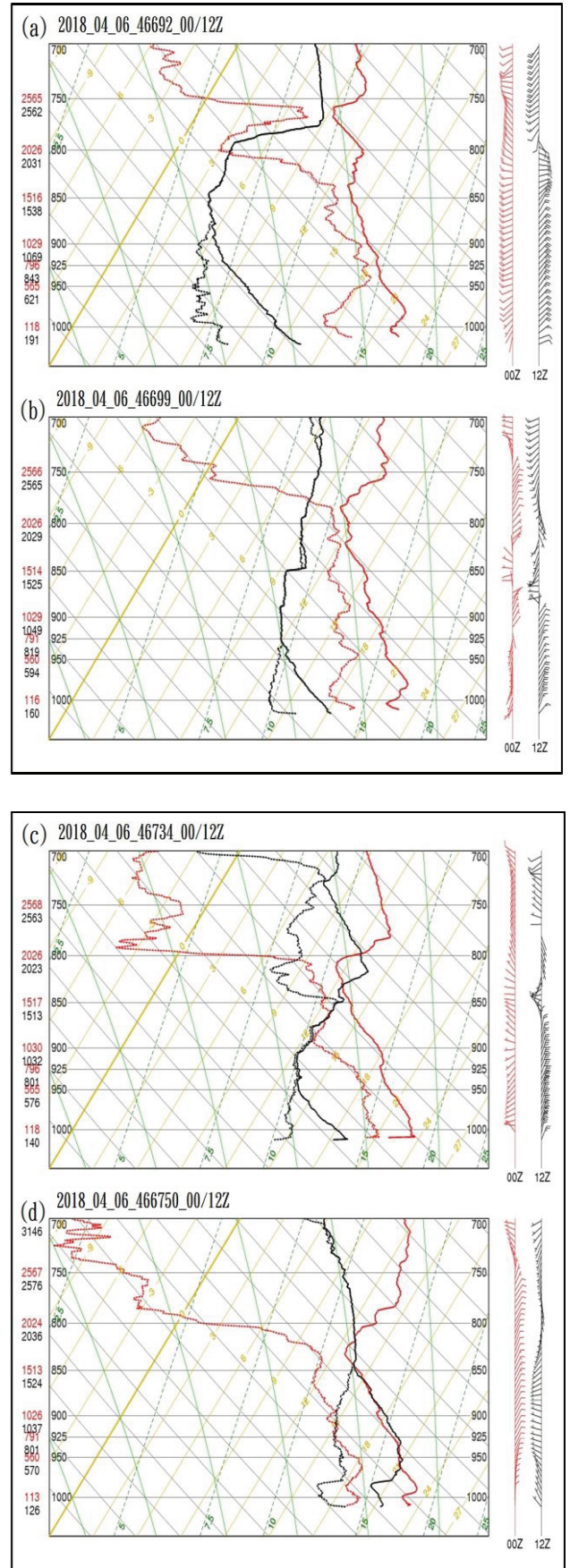


圖 6 臺灣區可見光雲圖(a) 2018 年 4 月 6 日 00Z(b) 2018 年 4 月 6 日 01Z(c) 2018 年 4 月 6 日 02Z (d)2018 年 4 月 6 日 03Z(e) 2018 年 4 月 6 日 04Z(f)2018 年 4 月 6 日 05Z(g)2018 年 4 月 6 日 06Z(h) 2018 年 4 月 6 日 07Z (i)2018 年 4 月 6 日 08Z 及 (j)2018 年 4 月 6 日 09Z。



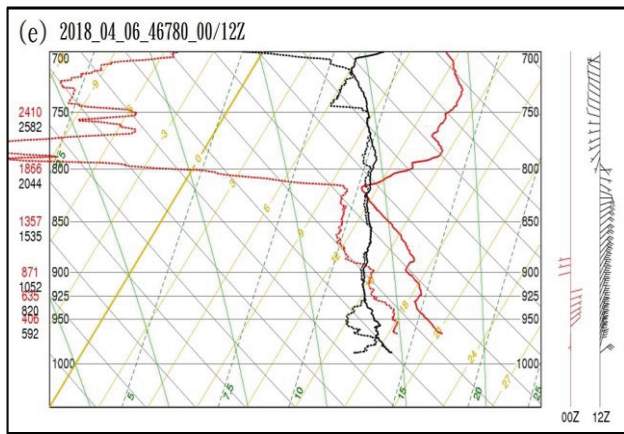


圖 7 高空觀測資料(a)04 月 06 日 00/12Z 板橋站 (b)同時間花蓮站 (c)馬公站(d)屏東站(e)綠島站。紅色線條及文字表示 00Z 高空觀測資訊，黑色線條及文字表示 12Z 高空觀測資訊。

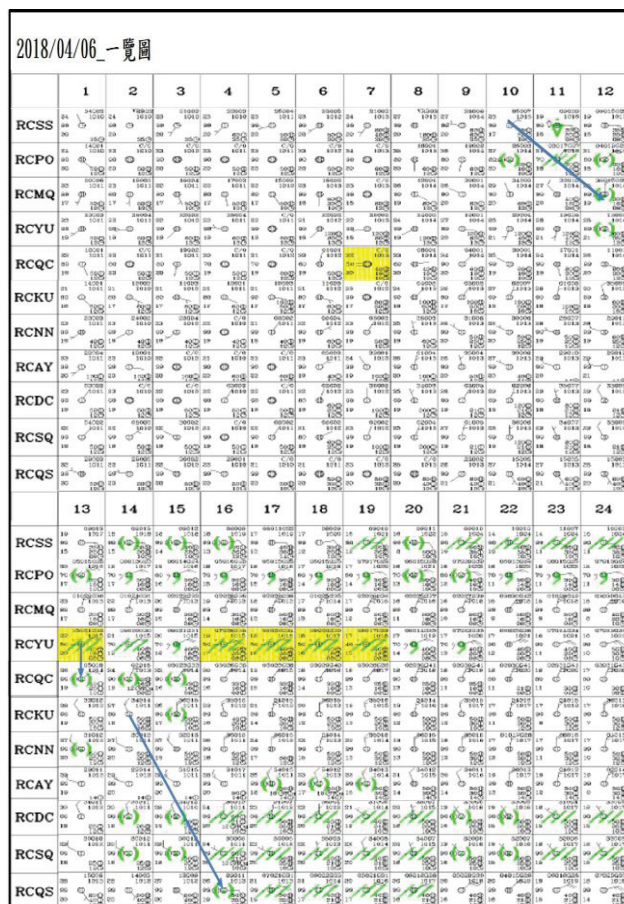


圖 8 2018 年 4 月 5 日 16Z 至 4 月 6 日 16Z 松山、新竹、清泉崗、花蓮、嘉義、臺南、岡山、屏南、屏北及臺東各機場逐時一覽圖；藍色箭號表示機場風場開始轉變時間。

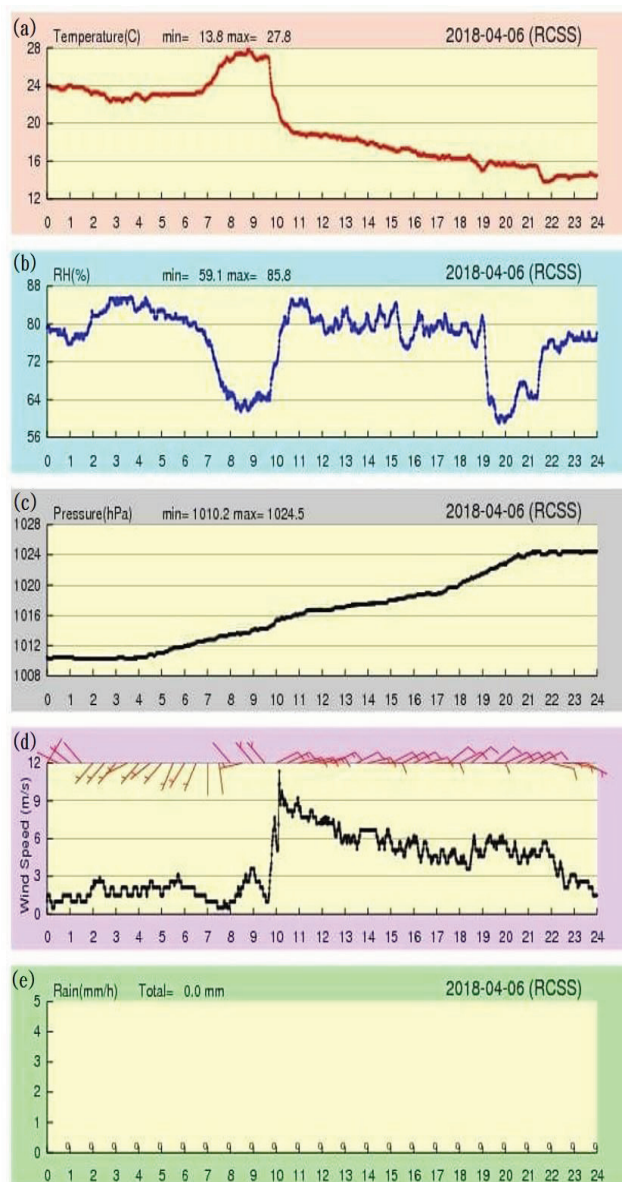
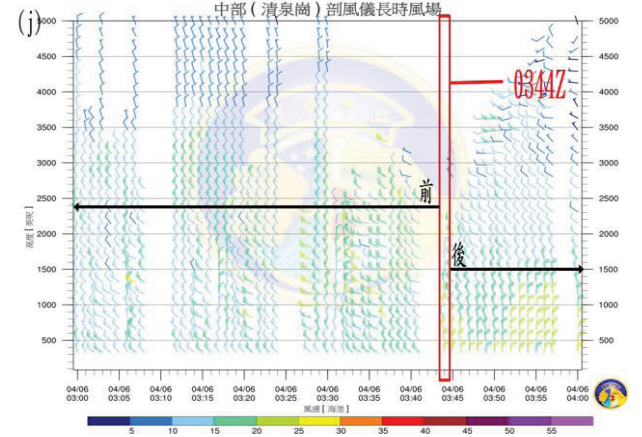
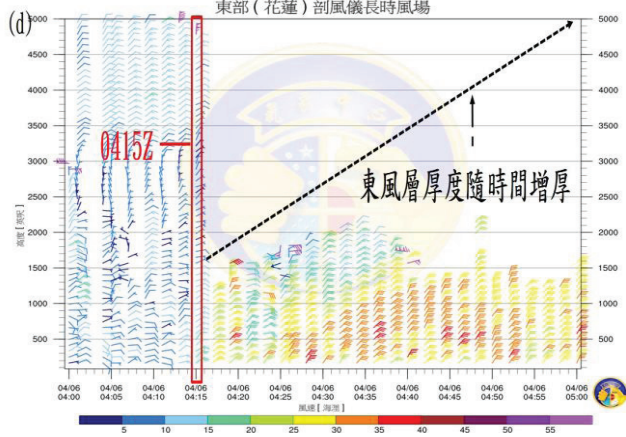
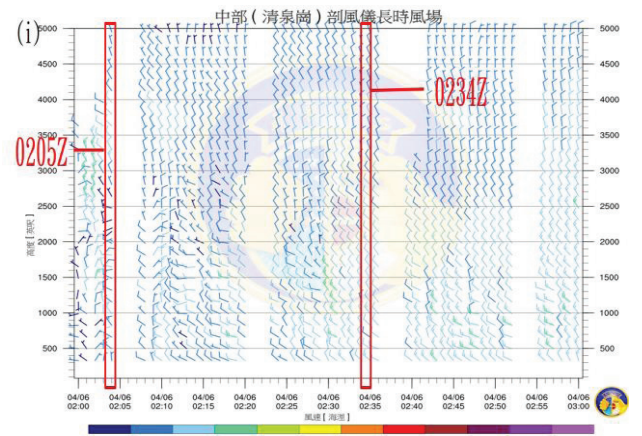
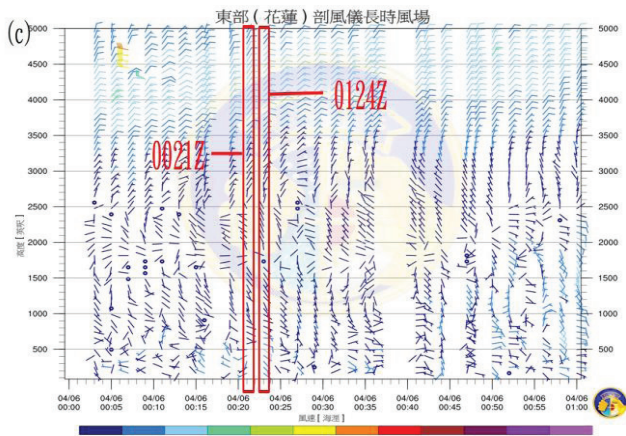
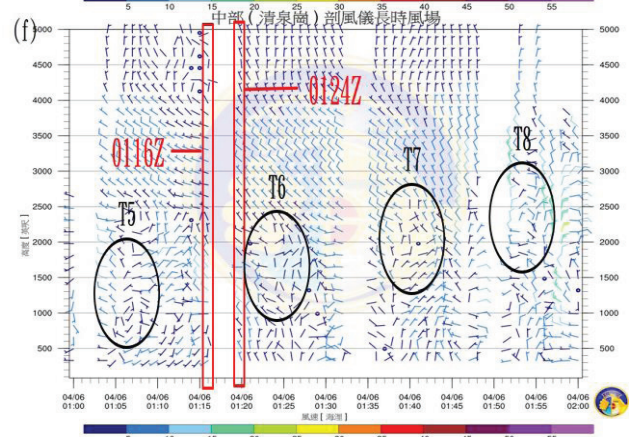
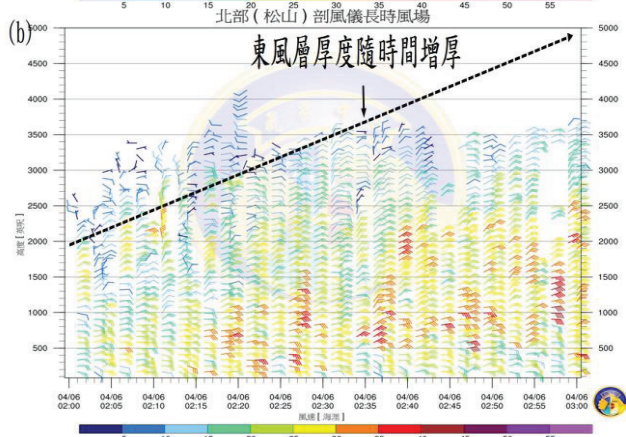
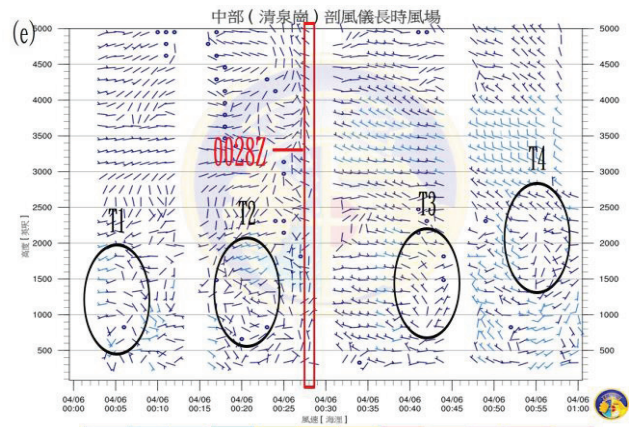
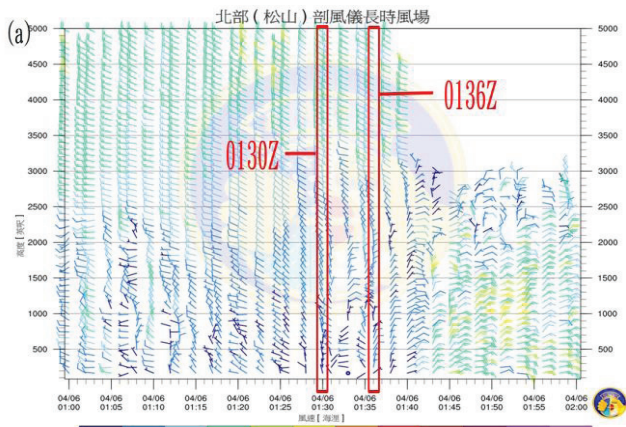


圖 9 (a)2018 年 4 月 6 日松山機場氣溫時序圖(b)2018 年 4 月 6 日松山機場相對溼度時序圖(c)2018 年 4 月 6 日松山機場氣壓時序圖(d)2018 年 4 月 6 日松山機場風向及風速時序圖(e) 2018 年 4 月 6 日松山機場雨量時序圖。



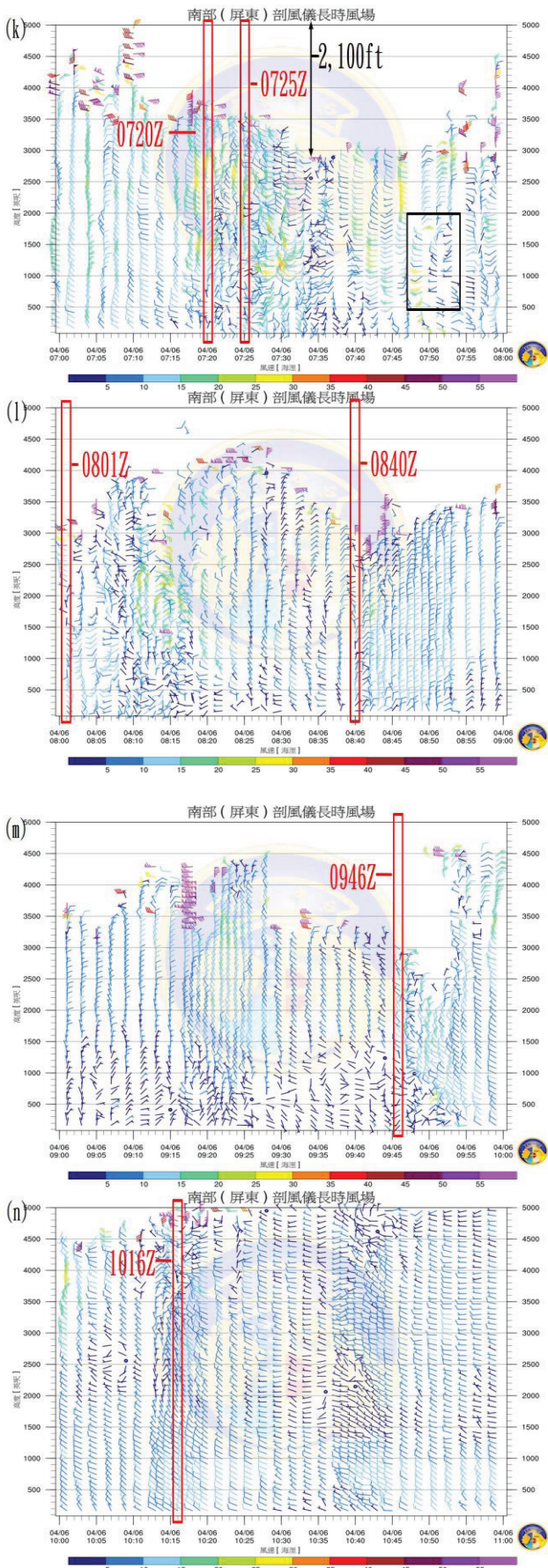


圖 10 北、東、中及南部地區 4 具雷射式剖風儀長時風場資料(a)04月06日01Z-02Z北部(松山)剖風儀 (b) 04月06日02Z-03Z北部(松山)剖風儀(c)04月06日00Z-01Z東部(花蓮)剖風儀(d)04月06日04Z-05Z東部(花蓮)剖風儀(e)04月06日00Z-01Z中部(清泉崗)剖風儀(f)04月06日01Z-02Z中部(清泉崗)剖風儀(i)04月06日02Z-03Z中部(清泉崗)剖風儀(j)04月06日03Z-04Z中部(清泉崗)剖風儀(k)04月06日07Z-08Z南部(屏東)剖風儀(l)04月06日08Z-09Z南部(屏東)剖風儀(m)04月06日09Z-10Z南部(屏東)剖風儀(n)04月06日10Z-11Z南部(屏東)剖風儀。色階表示風速大小，黑色方框表示風向對吹空層及對應時間，T1至T8黑色圓圈代表紊流空層。