

交通部中央氣象局
委託研究計畫期末成果報告

中尺度觀測資料於天氣監測與預報應用之研究

計畫類別：氣象 海象 地震

計畫編號：MOTC-CWB-99-2M-04

執行期間：99年3月11日至99年12月31日

計畫主持人：劉清煌

執行機構：中國文化大學

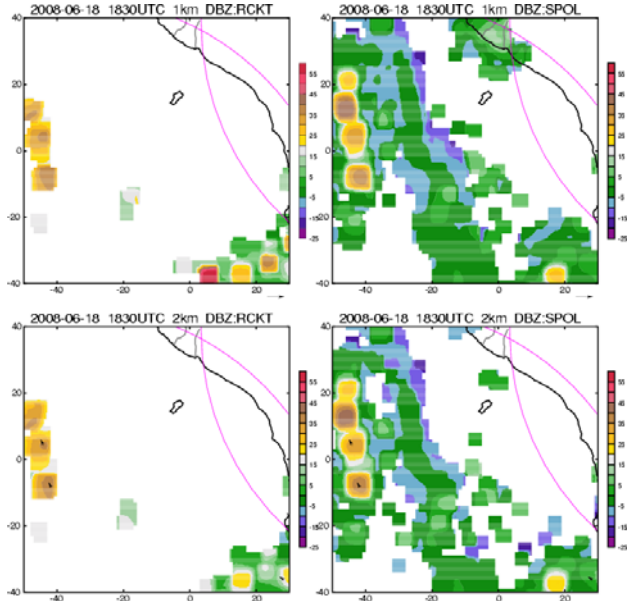
本成果報告包括以下應繳交之附件(或附錄)：

- 赴國外出差或研習心得報告1份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告1份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各1份

中華民國 99 年 12 月 5 日

政府研究計畫期末報告摘要資料表

計畫中文名稱	中尺度觀測資料於天氣監測與預報應用之研究		
計畫編號	MOTC-CWB-99-2M-04		
主管機關	交通部中央氣象局		
執行機構	中國文化大學		
年度	99	執行期間	自 99 年 3 月 11 日起至 99 年 12 月 31 日止
本期經費 (單位：千元)	623 千元		
執行進度	預定 (%)	實際 (%)	比較 (%)
	100	100	0
經費支用	預定(千元)	實際(千元)	支用率 (%)
	623	623	100
研究人員	計畫主持人	協同主持人	研究助理
	劉清煌	周仲島	吳彥儂
		李文兆	黃紹欽
		Paul Ciesielski	楊菁華
報告頁數	56	使用語言	中文
中英文關鍵詞	弱回波線、雷暴外流區、鋒前劇烈對流系統、資料檢定。 (weak convergent lines, thunderstorm outflow, prefrontal severe convective storms, data check)		
研究目的	台灣地區除了綜觀天氣站資料外，尚有許多的自動氣象及雨量站，測站密度相當高，雖然如此，但是不易掌握的中尺度天氣現象仍然很多，2008 年西南氣流實驗期間蒐集超過兩千個探空以及相當多的額外觀測資料，本計畫擬利用此組資料探討這些資料的特性及解析天氣系統的能力及限制，進一步瞭解台灣中尺度觀測資料在中尺度天氣分析與預報時所能提供的資訊。本計畫也將進一步釐清哪些中尺度天氣資訊是實驗之前所無法掌握，而經過這次實驗之後有新的認知，相信這些資訊對實驗結束後的中尺度天氣分析與預報有很大的幫助。		
研究成果	本研究探討中尺度觀測資料於天氣監測與預報之應用，首先探討中尺度地面觀測資料之檢定，利用極值及滑動平均之檢定，我們發現對於資料的品質有很大的提供，雖然只檢測 2008 年的實驗期間的觀測資料，但是對於非實驗期間的觀測資料，預期仍須加以檢定以確保資料的準確性，以利天氣系統的監測及預報。在 SoWMEX 期間有		

	<p>部份資料是較屬於研究型的資料如降雨雷達(MRR)、雨滴譜儀等需經過一段時間的研究之後，方能有效的提供預報之用，但是 S-POL 雷達及部份探空資料是可以即時提供中尺度天氣系統之監測與預報之用，加密探空在對的時間及地點是有助於對大氣環境的掌控，例如 6 月 13 日及 14 日，台南的加密探空能夠有效地掌握大氣溼度場及風場的變化。而 S-POL 雷達的掃描彌補了七股及墾丁雷達的不足，並且能對高屏溪河谷的降雨有莫大的幫助，最值得一提的是 S-POL 雷達高敏感度的回波能有效地掌握弱回波的存在(如 6 月 18 日的個案)。弱回波的存在顯示大氣邊界層弱對流界面的存在，這邊往往是对流系統的發源地，這個訊息對於雷雨的預報非常重要，也是目前常規作業資料及作業雷達所無法提供的，另外除了常規觀測及實驗資料之外，我們也介紹 ASCAT 海面風場的特性及其所能提供的資訊，在海面上觀測資料缺乏的地方，能有額外的觀測及反演資料(如擾動氣壓、渦度場、輻散場等)都是對天氣系統的監測相當有幫助的。</p> 
<p>具體落實應用情形</p>	<p>本研究提供了一個地面資料檢測的流程及程式，能有效檢定資料的品質，且以將原始程式碼(FORTRAN-77)及研究用資料燒錄成光碟。另外現行作業上無法監測的部份希望未來的新建系統可以加以考慮以利天氣系統的監測。</p>
<p>計畫變更說明</p>	<p>按原計畫進行中無變更。</p>
<p>落後原因</p>	<p>按原計畫進行中無變更。</p>
<p>檢討與建議 (變更或落後之因應對策)</p>	<p>無。</p>

期中口頭報告於 7 月 22 日假中央氣象局衛星中心會議室完成，期中預計完成的項目有：

- (1) 個案蒐集與整理。
- (2) 個案資料校驗。

這些工作均已如期完成，審查委員亦根據期中報告內容給予建議如下：

- (1) 在介紹 2008 年 5 月 19 日之弱回波線個案時，因為七股雷達距離較遠，因此，宜加入墾丁雷達之雷達回波圖。

回覆：已加入墾丁雷達之雷達回波圖（圖 22、23）並於期中報告中增加文字之敘述，亦增列於期末報告中。

- (2) 加入中央氣象局之 mesonet 定義。

回覆：中央氣象局所有 mesonet 站站資訊如 4.2 所示（表 2）。

期末口頭報告於 12 月 9 日假中央氣象局衛星中心會議室完成，期末預計完成的項目有：

- (1) 個案之作業資料分析（使用局屬現有作業資料）。
- (2) 個案之完整資料分析（使用局屬現有作業資料，再加入實驗期間額外增加之觀測資料）。

這些工作均已如期完成，審查委員亦根據期末報告內容給予建議如下：

- (1) 摘要中之期「中」應更正為期「末」。

回覆：錯別字以訂正，請見期末報告第 5 頁。

- (2) 資料檢定使用之門檻值應交待清楚，以利其他相關研究參考。

回覆：本研究所使用之檢定門檻值是根據 2008 年 5、6 月間之地面觀測資料計算而得出，故僅適用於此兩個月，未來可將此方法應用於其他月份上，但門檻值也許需要重新評估。

- (3) 建議將檢定 Mesonet 資料之方法與中央氣象局使用之方法比對合作。

回覆：中央氣象局之地面觀測資料檢定方法已加入本報告中，請見第 54 頁。

- (4) 結論部份針對有疑慮部份應再明確釐清。

回覆：修正過後之結論與建議詳見本報告第七章（第 54 頁）。

- (5) 結論與建議部分跟內文關係不明確，例如建議 a 中之自動站於討論中未提及。

回覆：關於自動站之站址環境評估已增列於本報告中，詳見第 14 頁第二段。

- (6) 第 12 頁所提之海陸風環流應可藉由分析觀測資料加以驗證。

回覆：內文於第 14 頁已修改及說明。

- (7) 文中未標示圖 12 之對應說明。

回覆：圖 12 之相關討論請見第 14 頁第一段。

- (8) 各圖之時間軸（橫坐標）應標示清楚為 UTC 或 LST。

回覆：已修正，請見第 33 頁，圖 24；第 41 頁，圖 34；第 48 頁，圖 45。

- (9) 圖 31 之時間軸超過 24 之部分應修正。

回覆：已修正，請見第 41 頁，圖 34。

(10) 於每張圖上應標示出個案發生時間 (如簡報檔所示), 以方便閱讀。

回覆: 已修正, 詳見修改後之期末報告。

(11) 第 21 頁之「圖 XX」應更正。

回覆: 經檢查前後文後發現此處並不需要加入圖片說明, 故已將此段文字重新修正, 詳見第 24 頁。

(12) 建議加入雙都卜勒風場之應用說明

回覆: 雙都卜勒雷達風場反演及其應用已加入本報告 4.2 中 (第 22, 23 頁), 相關之分析與討論請見報告中第六章之雷達資料分析。

修正後之期末報告如下:

中尺度觀測資料於天氣監測與預報應用之研究

(Applications of Mesoscale Observations On Weather Monitoring and Prediction)

摘要

本文為此計畫之期末報告，這份報告的主要工作項目為選取本研究所需之個案，以及資料品質檢定。在個案選取上，我們選擇(A)弱回波線、(B)雷暴發展成熟後所產生的外流、及(C)鋒前劇烈對流系統；在資料品質檢定上，我們集中於地面 mesonet 資料。在進行資料檢定的過程中，必須遵循以下三步驟，先將 missing data 排除，然後找出氣壓、氣溫、露點溫度和風速之標準，接著，再進行滑動平均檢定(也就是所謂的”body check”)以確保資料的連續性。經過這些步驟的檢定後，氣壓、氣溫、露點溫度及風速的極端值已回到合理的範圍內。最後，分析各站的每日 10 分鐘平均之時間序列圖及風花圖來對於資料特性有更好的了解。另外，我們探討其他資料在天氣系統監測的情況，S-POL 雷達的高敏感度能有效的掌握更多的弱回波有助於完整的掌握天氣系統及對流系統的起源，探空資料在適當的時間及地點施放加密探空有助於掌握大氣的結構，ASCAT 近海面風場有助於提供更多海面天氣系統的資訊。

關鍵字：弱回波線、雷暴外流區、鋒前劇烈對流系統、資料檢定。

Abstract

This is the final-term report of this project. The tasks for the first half of this project are to select cases for this research and data quality checks. For cases selection, based on the main proposal, we have selected cases for (A) weak convergent lines, (B) thunderstorm outflow, and (C) prefrontal severe convective storms. For data quality checks, we focus on surface mesonet data. Two steps of checking procedures have been performed to the data. Step 1: excludes the missing values. Step 2: criteria for pressure, temperature, dew point, and wind speed are applied. Step 3: we perform a running check (so called “body check”) to the data to ensure the continuity of the data. After these check, the extreme values of pressure, temperature, dew point, and wind speed fall in a reasonable range. Findlay, daily 10-minutes average and wind rose chart are produced for each station to get a better understanding of the data behavior. In addition, we have discussed the role of the data set in monitoring the weather system. The high sensitivity of S-POL radar can effectively observe the weak echo systems and capture the initiation of a convective system. For sounding, besides the regular operation, it is important to release a sounding in a right time and right place, for example, the upstream of strong convective system. In addition, the ASCAT winds provide extra information for the systems developed over the ocean.

Key Words: weak convergent lines, thunderstorm outflow, prefrontal severe convective storms, data check.

1. 前言

本階段工作主要針對 2008 年 SoWMEX 實驗期間所蒐集到的 mesonet 資料進行資料品質的分析，並利用 S-POL 雷達資料挑選出三種不同之個案作為研究的對象以了解各項資料在中尺度天氣系統的監測及預報之應用。

2. 研究目的及意義

2008 年西南氣流實驗期間蒐集相當多的額外觀測資料，本計畫擬利用此組資料探討這些資料的特性及解析天氣系統的能力及限制，進一步瞭解台灣中尺度觀測資料在中尺度天氣分析與預報時所能提供的資訊。

3. 各密集觀測期(Intensive Observation Period, IOP)之簡述

表 1 2008 年西南氣流實驗期間各密集觀測期 (IOP) 之科學議題與可以利用的研究資料類型

IOP #	起始時間	科學議題	「研究資料」種類
IOP-1	05/19 06UTC - 05/22 00UTC	鋒面系統	Dropsonde*13, 南船*11, Upsonde*142, S-POL(新園堤防), TEAM-R(新園堤防), Vertex、JWD、MRR、POSS、ISS(三地門 Super site)
		地形對流發生時的上游環境條件	
IOP-2	05/27 06UTC - 05/29 21UTC	西南氣流與地形的交互作用	Dropsonde*11, 南船*11, Upsonde*148, S-POL(新園堤防), TEAM-R(黃金海岸), Vertex、JWD、MRR、POSS、ISS(三地門 Super site)
		引發地形對流的上游環境條件	
		背風渦旋與風切區	
IOP-3	05/29 21UTC - 05/31 12UTC	於西南氣流及梅雨鋒面上的島嶼效應	Dropsonde*28, 北船*8, 南船*7, Upsonde*124, S-POL(新園堤防), TEAM-R(九如堤防), Vertex、JWD、MRR、POSS、ISS(三地門 Super site)
		強降水發生時的上游環境條件	
IOP-4	06/01 21UTC - 06/03 15UTC	中尺度對流系統	Dropsonde*13, 北船*5, 南船*7, Upsonde*146, S-POL(新園堤防), TEAM-R(九如堤防), Vertex、JWD、MRR、POSS、ISS(三地門 Super site)
		中尺度渦旋	
		地面淺鋒面	
IOP-5	06/03 18UTC - 06/04 12UTC	中尺度對流系統	Dropsonde*26, 北船*4, 南船*4, Upsonde*69, S-POL(新園堤防), TEAM-R(九如堤防), Vertex、JWD、MRR、POSS、ISS(三地門 Super site)
		中尺度渦旋	
		準滯留鋒面	
IOP-6	06/04 18UTC - 06/06 12UTC	中尺度對流系統	Dropsonde*35, 北船*8, 南船*7, Upsonde*147, S-POL(新園堤防)、TEAM-R(九如堤防), Vertex、JWD、MRR、POSS、ISS(三地門 Super site)
		中尺度渦旋	
		準滯留鋒面	
IOP-7	06/12 00UTC - 06/13 12UTC	對流系統的起始與地形對流	南船*7, Upsonde*68, S-POL(新園堤防)、TEAM-R(九如堤防), Vertex、JWD、MRR、POSS、ISS(三地門 Super site)
IOP-8	06/14 00UTC - 06/17 12UTC	地形對流與低層噴流發生時的上游環境條件	Dropsonde*35, 南船*14, Upsonde*224, S-POL(新園堤防), TEAM-R(九如堤防), Vertex、JWD、MRR、POSS、ISS(三地門 Super site)
		中尺度對流系統與中尺度渦旋	
		西南氣流與地形的交互作用	
IOP-9	06/23 06UTC - 06/26 12UTC	風神颱風的路徑不確定性	Dropsonde*23, Upsonde*90, S-POL(新園堤防), TEAM-R(九如堤防), Vertex、JWD、MRR、POSS、ISS(三地門 Super site)
		強降雨系統與颱風及西南氣流間的關聯	

2008年西南氣流實驗期間(5/15~6/26)共進行9次密集觀測期(表1)。每一個密集觀測期所觀測到的天氣現象很多，且各IOP著重之科學議題亦不同，其中，IOP-1之任務主要分成兩部份，第一部份的科學目標為微弱梅雨鋒面動力和大範圍降雨，第二部份則是了解地形降雨發生時的上游環境條件。從地面天氣圖(圖1a)可以看到有一道滯留鋒面影響台灣，衛星影像(圖1b)則可看出此鋒面雲帶並不顯著，影響台灣的中尺度對流系統接近台灣本島時，產生明顯之分離，其中一支往海峽北上，另外一支繞過墾丁在台灣東方海面，此結果也讓台灣南部地區之降雨明顯減少。

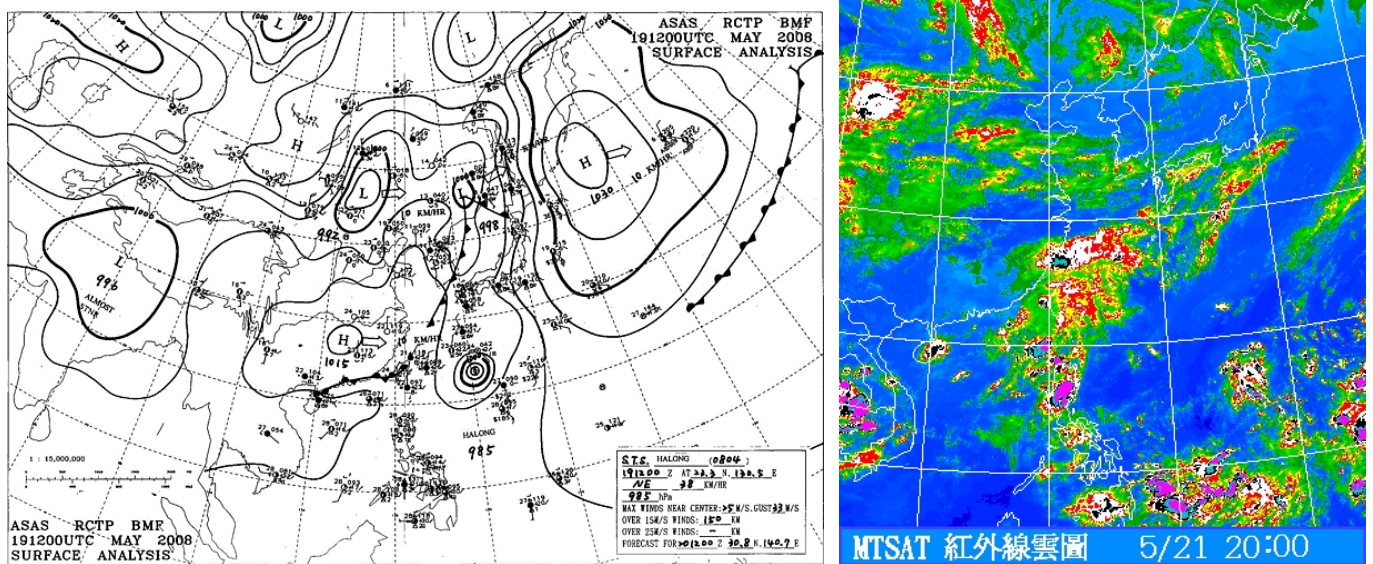


圖 1 2008 年 5 月 21 日 12UTC 之(a)地面天氣圖、(b)紅外線衛星影像。

IOP-2 於 5 月 27 日 06UTC 啟動，於 5 月 29 日 21UTC 結束，主要的科學議題為西南氣流與地形的交互作用，微弱之梅雨鋒面於 29 日 00UTC 開始影響台灣地區(圖 2a)，6 小時後即移出台灣本島並消散，從圖 2b 也可看出此鋒面之結構相當鬆散，並無明顯之鋒面強對流雨帶，僅有一些影響範圍不大的小尺度對流系統。

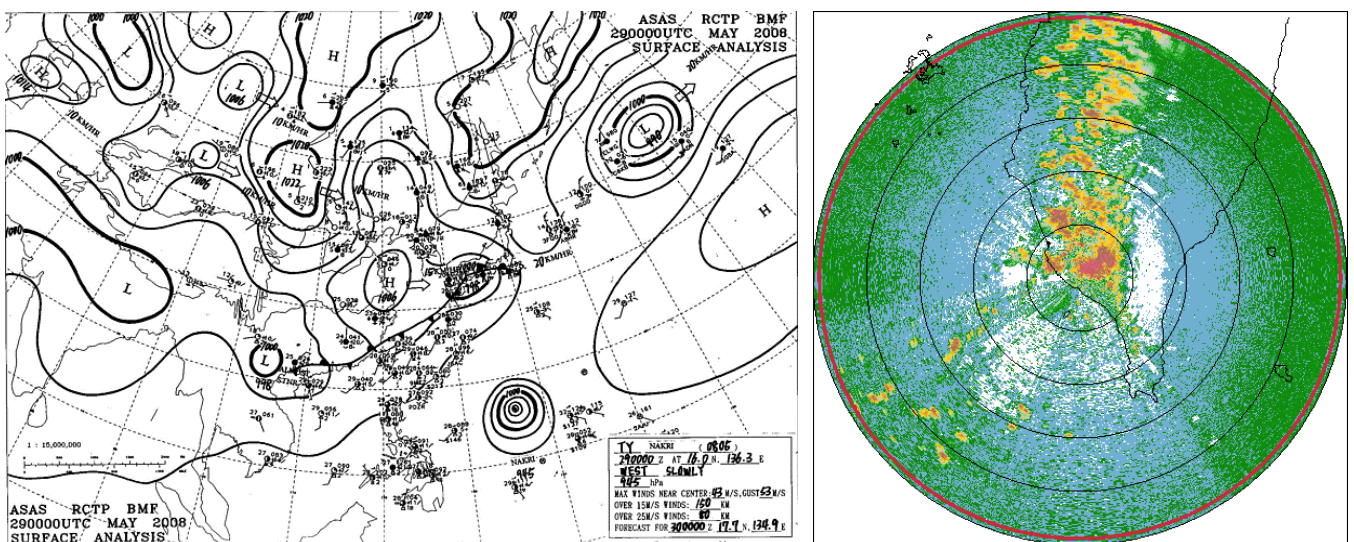


圖 2 2008 年 5 月 29 日 00UTC 之(a)地面天氣圖、(b)S-POL 雷達回波圖。

IOP-2 結束後旋即啟動加強觀測期(Enhance Observation Period, EOP)，進行連續 9 天的加強觀測，EOP 期間包含了 4 個 IOP，每個 IOP 的科學目標不盡相同，加強觀測項目包括地基探空站(台中、六龜、馬公、屏東及恆春)一天八次探空以及機載探空(dropsonde)。IOP-3 主要著重於研究西南氣流及梅雨鋒面上的島嶼效應。IOP-4 和滯留鋒面、西南氣流與地形的交互作用有關，梅雨鋒面上伴隨的中尺度對流系統(圖 3a)導致強降水事件發生，恆春站之探空資料(圖 3b)亦顯示台灣南部的大氣環境相當不穩定，CAPE 約為 2800，相當適合對流發展，另外，低層噴流存在於 850 hPa 處，豐沛的水氣不斷地經由此噴流移入台灣南部附近。由於鋒面系統持續影響，因此，IOP-4 結束後 3 小時旋即啟動 IOP-5，主要科學目標為中尺度對流系統與滯留鋒面，可惜的是中尺度對流系統在接近台灣陸地前即消散。然而，台灣南部海面仍處於不穩定的環境中，所以，IOP-6 於 6 月 4 日 18UTC 啟動，至 6 月 6 日 12UTC 結束，在此段期間內，台灣海峽南部不僅有明顯地中尺度對流系統建立起來且在地形舉升下產生較強之降水，在 5 日 0100UTC 更有中尺度渦旋於台灣海峽南部生成(圖 4a)，此渦旋除了被 S-POL 及其他雷達所掌握(圖 4b)，更有 35 顆投落送資料可供分析。

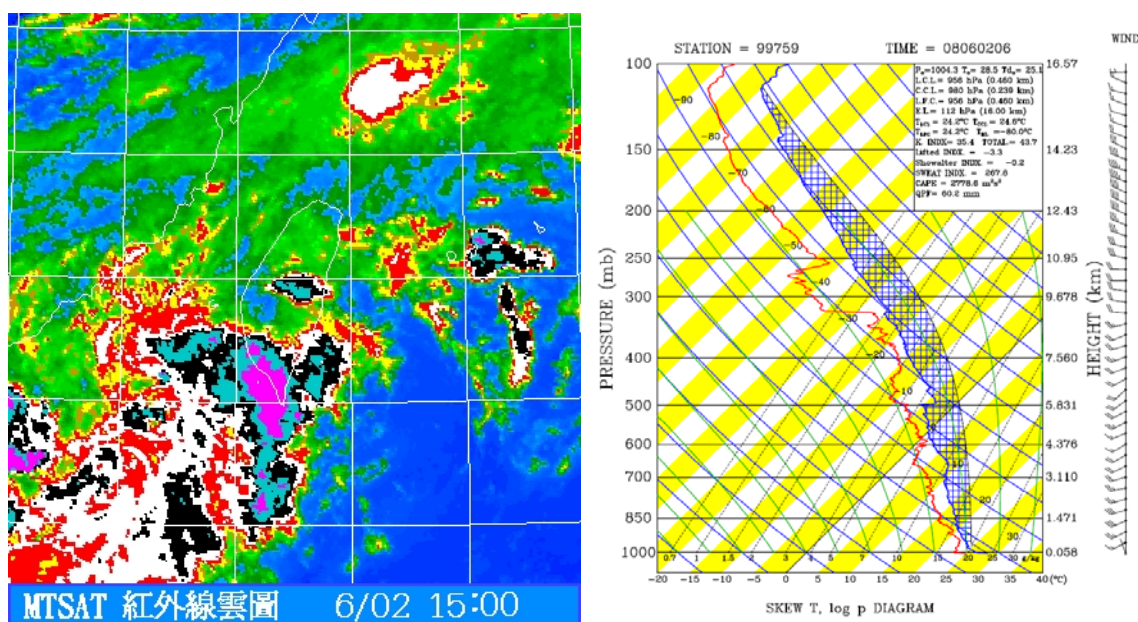


圖 3 (a) 2008 年 6 月 2 日 01UTC 紅外線衛星影像、(b) 6 月 2 日 00UTC 恆春站之斜溫圖。

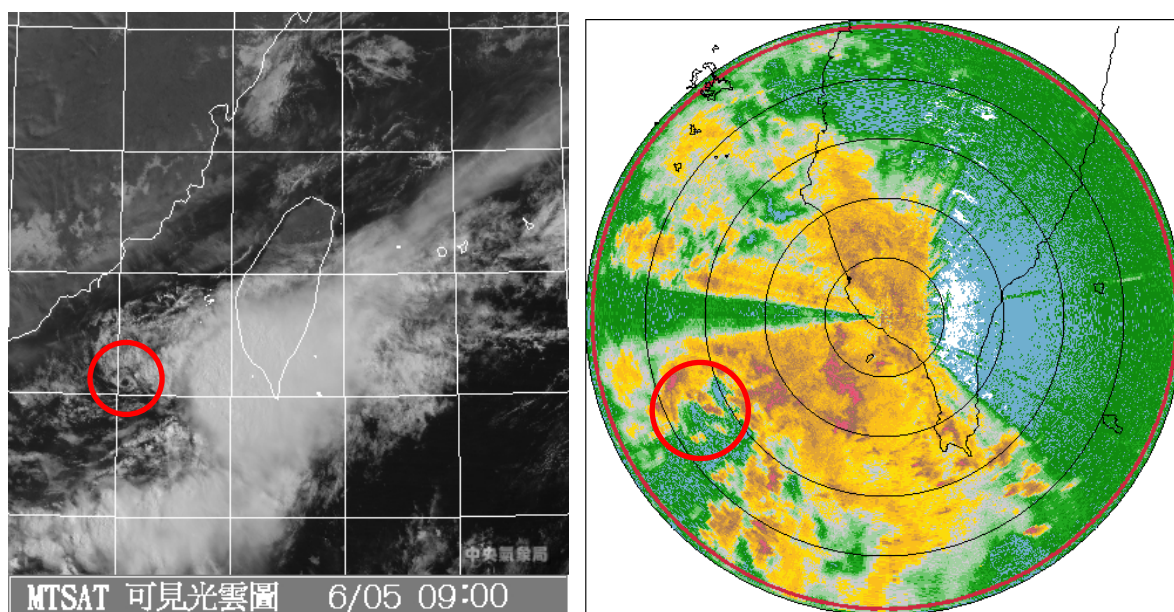


圖 4 (a) 2008 年 6 月 5 日 01UTC 之可見光衛星影像、(b) 6 月 5 日 02UTC 之 S-POL 雷達回波圖。

IOP-7 於 6 月 12 日梅雨鋒面於 6 月 12 日 00UTC 開始影響台灣北部地區，這一波系統的影響區域僅侷限在台灣中、北部地區，所以，此次 IOP 僅持續約 36 小時即宣告結束。IOP-8 啟動時間為 6 月 14 日 00UTC，鋒面距離台灣陸地尚有一段距離，但由雷達回波圖卻發現有一移動快速的線狀對流系統移入台灣(圖 5a)，受到此系統的影響，全台皆有降雨發生，但最大降雨出現在台灣西南部地區，許多測站之日累積雨量可達到 100~150 mm 以上(圖 5b)。此線狀對流系統在通過七股雷達站後快速消散，南部地區持續受到西南氣流的影響，對流胞不斷地生成並逐漸往北移動，直到 6 月 16 日 19UTC，南部及台北地區的對流雲系皆消散，降雨緩和，IOP-8 於 17 日 12UTC 結束。由於風神颱風(Fengshen)的接近，原先，各種數值模式皆預測風神颱風會侵襲台灣，因此，IOP-9 於 6 月 23 日 06UTC 啟動，主要是想蒐集颱風與西南氣流之間的關連性，但因為副熱帶高壓一直較預測中強，最後，風神從香港登陸，台灣附近地區受到颱風外圍之下沉氣流影響，為炎熱的好天氣。

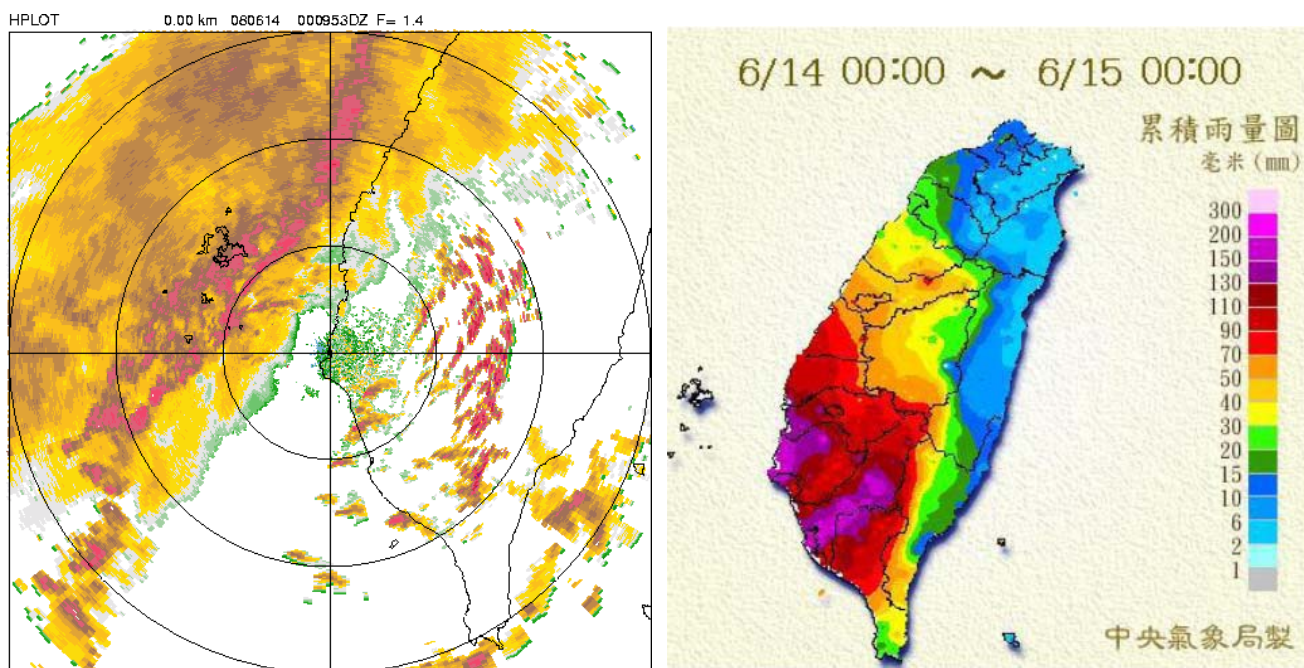


圖 5 (a) 2008 年 6 月 14 日 00UTC 之七股雷達回波圖、(b) 6 月 14 日之日累積雨量圖。

4. 資料來源與研究方法

本計畫之分析研究主要可分為兩部分，第一部分只使用中央氣象局現行作業資料，包含局屬測站、Mesonet、自動氣象站及自動雨量站之地面觀測資料與七股、墾丁雷達站之雷達資料進行分析與討論，稱為「作業資料分析」，各站點之位置如圖 6 所示，擬以七股及墾丁兩雷達資料為主，探討雷達對各個案的觀測情形，並利用本局現行作業用的資料分析其綜觀環境及可解析出來的中尺度系統。第二部分則加入西南氣流實驗期間額外增加之 Vertix、JWD、MRR、POSS、ISS、投落送(dropsonde)、船舶探空及地面探空、S-POL 及 TEAM-R 雷達等觀測資料(圖 7)進行進一步之分析與討論，稱為「完整資料分析」，主要是以 S-POL 雷達資料所觀測到的雷達回波輔以其他「研究資料」及現行作業觀測資料以了解對流回波線生成的大環境及發展過程，並且探討這些對流線與中尺度對流系統的交互作用。2008 年西南氣流實驗期間之研究資料眾多，但有些資料僅適合進階研究使用，欲實際應用於即時分析上較為困難，像是可以測量近地面雨滴粒徑的 JWD(JOSS-Waldvogel Distrometer)、2DVD(2D-Video Distrometer)與 POSS(Precipitation Occurrence Sensor System)及可測量降雨量及雨滴粒徑垂直分佈的垂直指向降雨雷達(Verti-x)及 MRR(Micro Rain Radar)，因此，上述之資料於本計劃中將先不予分析討論。

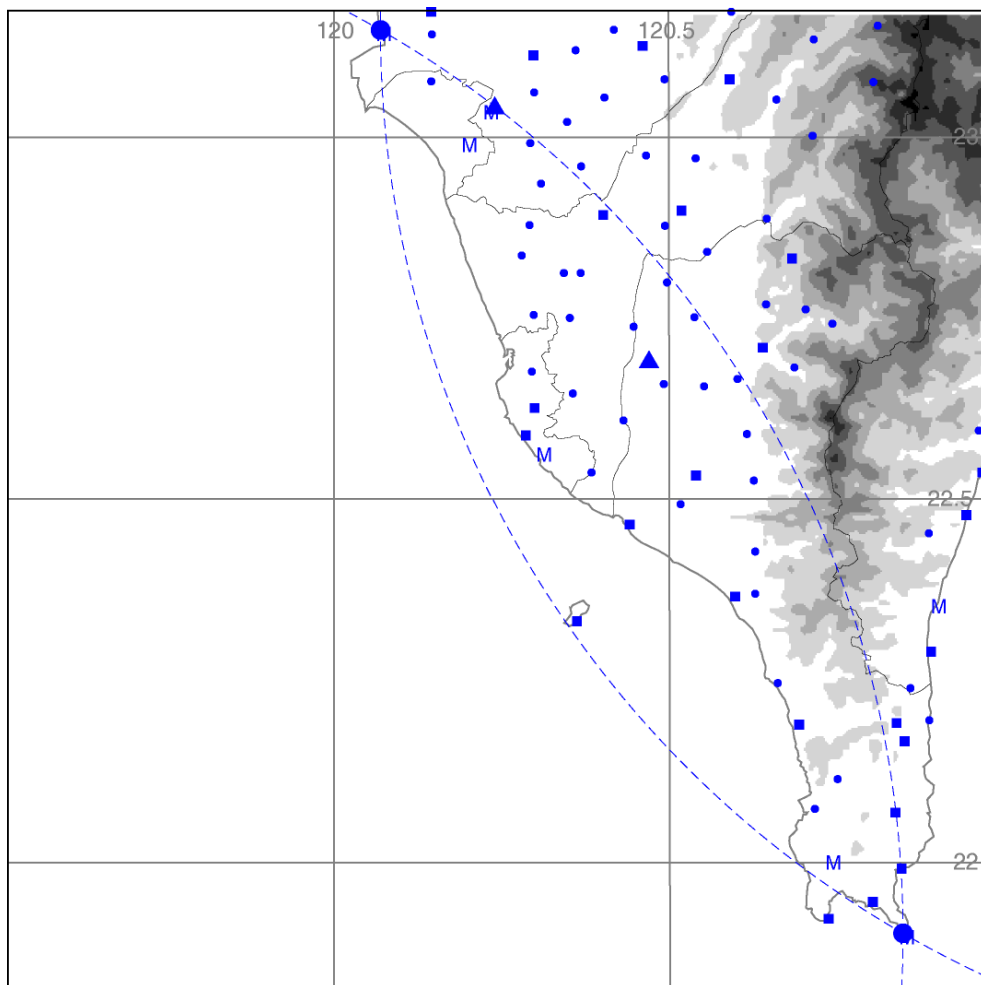


圖 6 各測站之地理位置分佈圖。局屬測站(mesonet)以 M 表示，三角形代表台南及屏東探空站，正方形為自動氣象站、小圓點為自動雨量站，七股、墾丁雷達站則以大圓點表示，虛線表示兩雷達之 Dual-Doppler lobe，於兩雷達 Baseline 上無法得到風場資料。

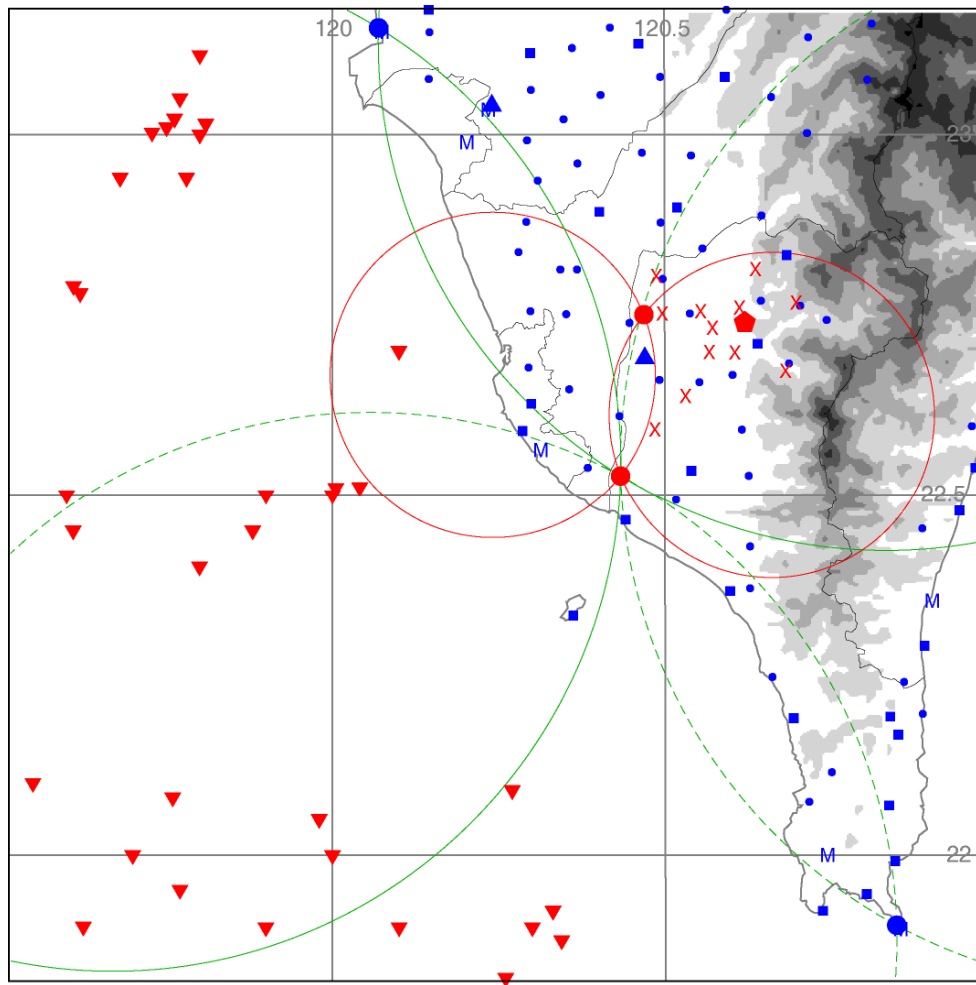


圖 7 各測站之地理位置分佈圖。局屬測站(mesonet)以 M 表示，藍色三角形代表台南及屏東探空站，正方形為自動氣象站、藍色小圓點為自動雨量站，七股、墾丁雷達站則以藍色大圓點表示，虛線表示中央氣象局現有作業雷達之 Dual-Doppler lobe。紅色倒三角形為 dropsonde 投擲地點，紅色六角形為 SoWMEX08 之超級站位置，紅色叉號則為額外觀測資料所在站點，紅色圓點分別為 S-POL 及 TEAM-R 雷達站，紅色實線為兩雷達之 Dual-Doppler lobe。綠色實線及虛線則分別代表 S-POL 與七股及墾丁雷達站之 Dual-Doppler lobe，於兩雷達 Baseline 上無法得到風場資料。

4.1 Mesonet 地面觀測資料及檢定方法

中央氣象局 mesonet 測站共有 42 站，包含 33 個局屬站以及 9 個合作站（表 2），此 9 個合作站並不包括在氣象局之自動氣象站網內。因本研究主要分析區域為台灣南部地區，所以我們選取 24°N 以南共 19 個測站來進行資料之校驗（圖 8）。

表 2 中央氣象局 mesonet 測站資訊

測站名稱	測站代碼	緯度	經度	高度(m)	測站名稱	測站代碼	緯度	經度	高度(m)
五分山	46685	25.073	121.772	757.0	玉山	46755	23.489	120.952	3845.0
板橋	46688	24.999	121.434	10.0	新竹	46757	24.830	121.006	27.0
淡水	46690	25.166	121.440	19.0	恆春	46759	22.005	120.738	22.0
鞍部	46691	25.187	121.520	826.0	成功	46761	23.099	121.365	34.0
台北	46692	25.040	121.507	5.0	蘭嶼	46762	22.039	121.551	324.0
竹子湖	46693	25.165	121.536	607.0	日月潭	46765	23.883	120.900	1015.0
基隆	46694	25.135	121.732	27.0	台東	46766	22.754	121.146	9.0
彭佳嶼	46695	25.629	122.071	102.0	梧棲	46777	24.259	120.515	32.0
花蓮	46699	23.977	121.605	16.0	七股	46778	23.148	120.069	38.0
蘇澳	46706	24.602	121.864	25.0	墾丁	46779	21.903	120.847	29.0
宜蘭	46708	24.766	121.748	7.0	馬祖	46799	26.169	119.923	98.0
金門	46711	24.407	118.289	48.0	東沙	46810	20.070	116.717	4.0
東吉島	46730	23.259	119.660	43.0	龍洞	A0A9K	25.101	121.918	13.0
澎湖	46735	23.567	119.555	11.0	新店	A0A9M	24.961	121.517	24.0
台南	46741	22.995	120.197	41.0	拉拉山	A0C54	24.690	121.404	1374.0
永康	46742	23.039	120.229	8.0	彰師大	A0G72	24.081	120.557	37.0
高雄	46744	22.568	120.308	2.0	太魯閣	A0T78	24.160	121.615	70.0
嘉義	46748	23.498	120.424	27.0	金門	A0W03	24.443	118.432	6.0
台中	46749	24.147	120.676	84.0	吉貝	A0W08	23.740	119.604	3.0
阿里山	46753	23.510	120.805	2413.0	合歡山莊	A0Z08	24.144	121.276	3171.0
大武	46754	22.358	120.896	8.0	武陵	D2F23	24.380	121.360	1734.0

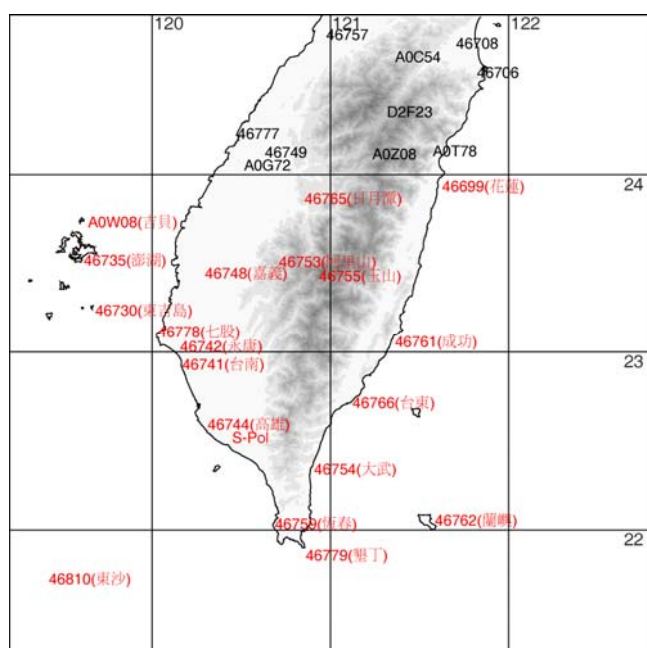


圖 8 中央氣象局 mesonet 網，紅字為本研究進行資料檢定之測站。

Mesonet 資料檢定流程圖如圖 9 所示，檢定之方法可分為四個步驟：

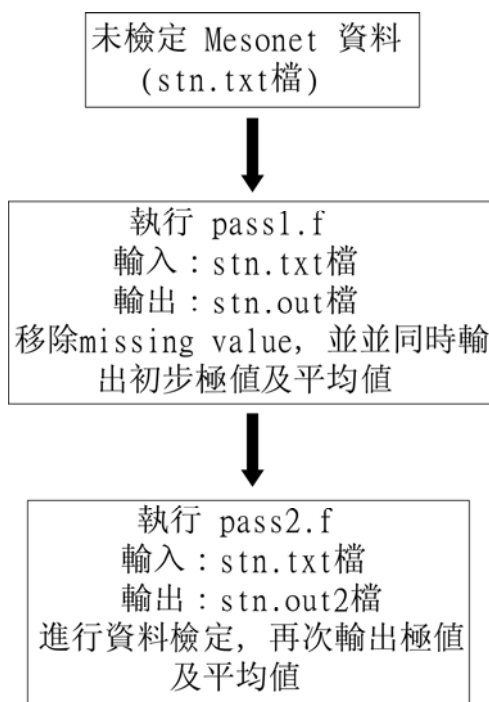


圖 9 資料檢定流程圖。

a. 先移除 missing value

圖 10 最上面的小圖是風速(紅線)及風向(藍線)，橫軸為日期，從 2008 年 5 月 1 日起算到 6 月 30 日止，中間圖是溫度距平(紅線，扣除該站 5、6 月之平均溫度)及溫度露點差(綠線)，下圖是測站氣壓距平(扣除該站 5、6 月之平均氣壓)。移除 missing value 後仍可發現風向有怪異值出現，仔細調閱資料，發現風向有些值標示為 990，指示該資料風向不定，另外當風速小於 0.2 m/s，表示當風速很小時風向不具代表性，因此風向設為 0；分析溫度、露點及氣壓值也發現會有些怪異值的出現，由搜索出之極值顯示仍有不合理資料存在(如表 3 上之紅字所示)，因此需要有更進一步之資料檢定。

b. 「極值檢定」：

當氣壓與平均值差 10 hPa 以上、溫度與平均溫度差 10°C 以上、溫度露點差為負值或是大於 20°C 時、風速小於 0 m/s、風向小於 0° 或大於 360° 時，皆移除該點資料。

c. 「滑動平均檢定」：

利用 10 點滑動平均，若輸入值與滑動平均值差 5 以上，則去除該點資料，這個方法稱為 body check，以確保資料的連續性，經過第二次的資料檢定發現各測站的溫、壓、風速極值均在合理的範圍(圖 11 及表 4)。

d. 「資料一致性檢定」：

若某一時間的溫度或露點中有一個為缺值，則該時間的溫度及露點均設為缺，同樣的若某一時間的風速或風向有一項為缺值，則風速及風向均設為缺值。

除了永康站之外，我們另外選取了東沙站(46810)、恆春站(46759)及設置於 S-POL 雷達站之移動式自動氣象站(Meteorological Automatic Weather System, MAWS)來分析。東沙站的資料看起來相當合理，除了氣壓資料需要進行第二次檢定；恆春站也有幾筆錯誤的風向資料；而移動式自動氣象站之資料

則較穩定，並不需要進行初步之資料檢定。所有測站經過第一及第二次檢定後，資料均在合理範圍內，然而，仍需要進一步考慮各氣象參數資料之品質。

為了瞭解各測站資料之特性，我們計算出每日相同時間之 10 分鐘平均值，因此我們可以得到實驗期間 10 分鐘平均之時間序列，每一變數之時間序列有 144 個點(24x6=144)。從圖 12 可以看到日夜變化且風速與氣溫曲線似乎有一致性，可能與白天溫度升高所導致的亂流有關，晚上風速則較弱，而各站最大風速出現時間也有些微的不同，永康站(圖 12a)之風速在下午 4 點左右達到最大；S-POL 站(圖 12b)在下午 2 點左右；恆春站(圖 12c)則在下午 1 點左右；東沙站(圖 12b)除了溫度日夜變化幅度較小外，其平均風速亦沒有明顯之變化，皆維持在 3~4 m/s。另外，為了解各測站在 5、6 月期間風速、風向的分布情形，我們分析每一個測站的風花圖，永康站為例，永康站(46742)位於永康市區，風向風速塔高出四周建築物(圖 13a)，測量到的風速約有 45%在 2.5 m/s 以下，88%在 5 m/s 以下，風向以南風及東南風為主(圖 13b)；東沙站位於台灣西南方海面上，風向/風速塔周圍並無建築物及樹木之遮蔽(圖 14a)，此站的資料可代表梅雨季時的上游環境條件，圖 14b 顯示盛行風向為南風(21.6%)及南南西風(22.5%)，顯示台灣梅雨季期間，上游區域仍以偏西南風為主；S-POL 之自動氣象站位於高屏溪河口之河堤上(圖 15a)，四周極為空曠，量測到之風速有 96.1%在 5 m/s 以下，風向分布則相當均勻，並無顯著之盛行風向(圖 15b)。風花圖顯示風速、風向的分布與每個站的地理環境有很大的關係，值得逐站深入探討，而這些站顯示的是 2008 年 5、6 月期間各測站的特性，是否具有局部環流的特性最好加入其他年份及其他月份的資料一併討論較為明確。

此外，中央氣象局於全台有為數眾多之自動氣象站，而自動氣象站之地點選擇不易，往往受到限制，因此，也許需進行實地之評估，以了解各站點在風場及降雨場上之代表性及合理性，我們將以玉井自動站進行簡單之評估。圖 16 為玉井自動氣象站四周環場照片，從照片中可發現北側有一高約 2.5 公尺矮平房，對於風場並無構成影響，西及南側雖有樹木，但高度皆比風速塔低，東側之樹木明顯高於風速塔，由風花圖(圖 17)中也可以發現幾乎沒有東風分量，顯示東側樹木之阻擋對於風場影響很大，此站之盛行風為北北東風及東北風。

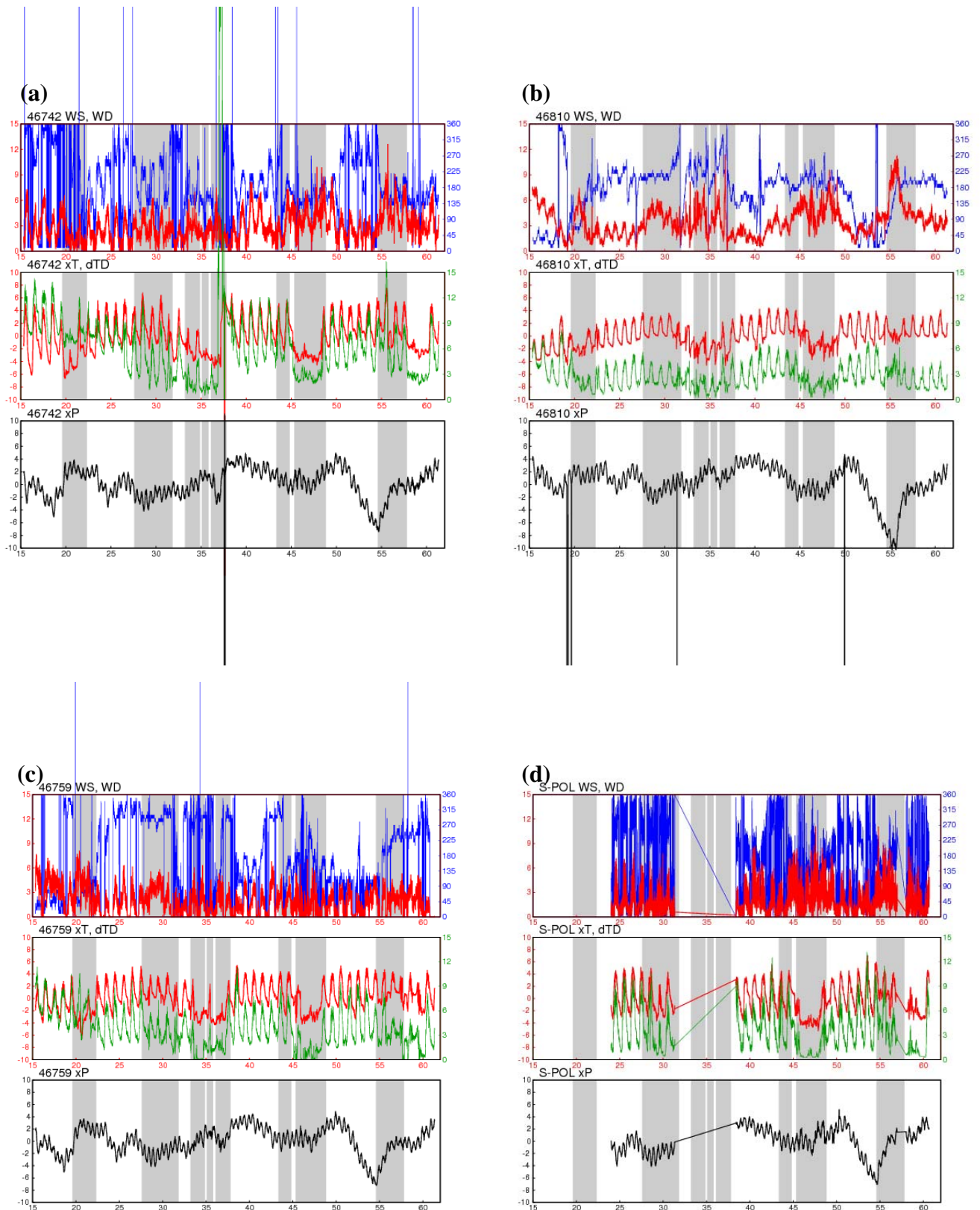


圖 10 原始 mesonet 測站之時間序列圖，(a)永康站(46742)、(b)東沙站(46810)、(c)恆春站(46759)、及 (d)架設於 S-POL 雷達站之 MAWS。橫座標為時間序列，上圖的紅線代表風速，藍線為風向，中圖的紅線為溫度距平，綠線為溫度露點差，下圖為氣壓距平。

表 3 各測站之氣象參數極值列表

測站名稱	測站代碼	緯度	經度	高度	資料筆數	最低氣溫	最高氣溫	最低露點溫度	最高露點溫度	最低氣壓	最高氣壓	最大風速
花蓮	46699	23.977	121.605	16.0	66021	20.5	33.7	14.4	27.5	999.4	1012	13.6
東吉島	46730	23.259	119.660	43.0	66072	-10.1	31.1	-27.5	29.4	798.8	1007.9	19
澎湖	46735	23.567	119.555	11.0	66062	22.5	32.1	10.9	27.9	999.3	1011.5	12.9
台南	46741	22.995	120.197	41.0	65439	21.1	34.9	17.2	26.3	998	1010	12.2
永康	46742	23.039	120.229	8.0	65815	-10	35.2	-28.9	27.3	797.4	1017.8	12.6
高雄	46744	22.568	120.308	2.0	66059	22.2	33.9	17.2	28	1000	1012.2	8.3
嘉義	46748	23.498	120.424	27.0	66029	19.4	35.6	18	26.6	997.5	1010.1	9.7
阿里山	46753	23.510	120.805	2413.0	65988	6.3	22.9	-0.4	17.8	758.8	767.7	6.8
大武	46754	22.358	120.896	8.0	66075	-9.5	42.4	-9.5	27.8	800.5	1027.9	27.4
玉山	46755	23.489	120.952	3845.0	64873	1.1	18.8	-20.8	11.2	638.9	646.8	17.1
恆春	46759	22.005	120.738	22.0	66071	21.3	33.2	14.5	28.4	998.1	1010.2	8.1
成功	46761	23.099	121.365	34.0	66086	20.6	32.7	11.1	27.5	996.7	1009.2	11.2
蘭嶼	46762	22.039	121.551	324.0	65363	18.9	30.1	15.9	27.8	965.8	977.3	19.6
日月潭	46765	23.883	120.900	1015.0	66044	15	30.7	12.2	23.5	893.2	903.9	6.5
台東	46766	22.754	121.146	9.0	66079	21.4	34.6	14.2	27.4	999.8	1012.6	8.1
七股	46778	23.148	120.069	38.0	65854	21.6	33.4	16.8	26.5	999.5	1011.6	12.5
墾丁	46779	21.903	120.847	29.0	66016	20.7	32.2	17	29	997.3	1009.5	9.7
東沙	46810	20.070	116.717	4.0	6606	23.1	32.3	19.6	27.9	798.1	1009.5	11.4
吉貝	A0W08	23.740	119.604	3.0	62421	22.3	30.9	10.9	28.5	999.7	1012	14.4

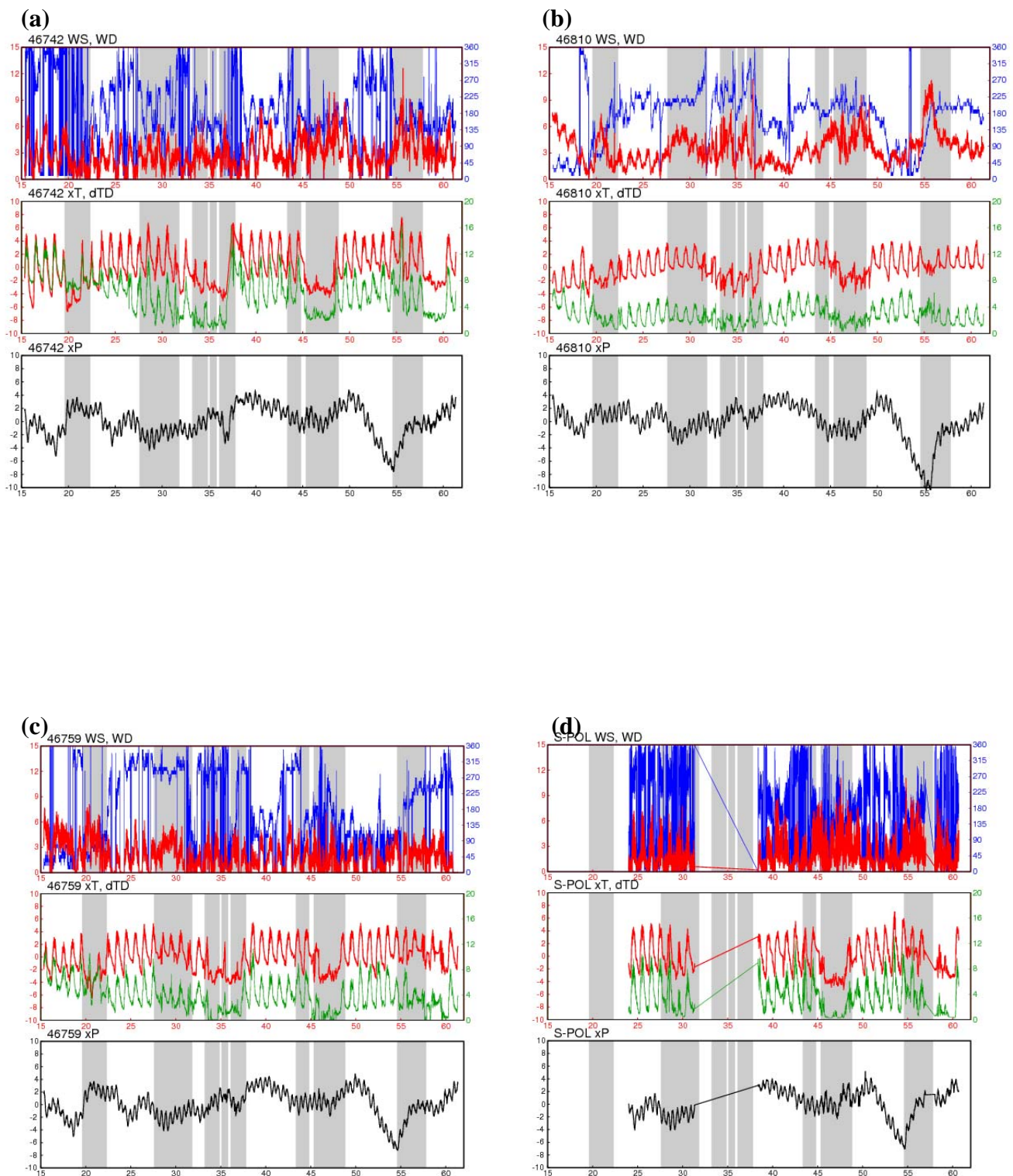


圖 11 mesonet 測站資料檢定後之時間序列圖，(a)永康站(46742)、(b)東沙站(46810)、(c)恆春站(46759)、及(d)架設於 S-POL 雷達站之 MAWS。橫座標為時間序列，上圖的紅線代表風速，藍線為風向，中圖的紅線為溫度距平，綠線為溫度露點差，下圖為氣壓距平。

表 4 經過初步品質控制後，各測站之氣象參數極值列表

測站名稱	測站代碼	緯度	經度	高度	資料筆數	最低氣溫	最高氣溫	最低露點溫度	最高露點溫度	最低氣壓	最高氣壓	最大風速
花蓮	46699	23.977	121.605	16.0	66021	20.5	33.7	14.4	27.5	999.4	1012	13.6
東吉島	46730	23.259	119.660	43.0	66072	17.4	31.1	4.3	29.4	995.8	1007.9	19
澎湖	46735	23.567	119.555	11.0	66062	22.5	32.1	10.9	27.9	999.3	1011.5	12.9
台南	46741	22.995	120.197	41.0	65439	21.1	34.9	17.2	26.3	998	1010	12.2
永康	46742	23.039	120.229	8.0	65815	19.3	35.1	9	27.3	999.2	1011.6	12.6
高雄	46744	22.568	120.308	2.0	66059	22.2	33.9	17.2	28	1000	1012.2	8.3
嘉義	46748	23.498	120.424	27.0	66029	19.4	35.6	18	26.6	997.5	1010.1	9.7
阿里山	46753	23.510	120.805	2413.0	65988	6.3	22.9	-0.4	17.8	758.8	767.7	6.8
大武	46754	22.358	120.896	8.0	66075	19	35.9	13.5	27.8	1000.3	1015.3	27.4
玉山	46755	23.489	120.952	3845.0	64873	1.1	16.3	-17.2	11.2	638.9	646.8	17.1
恆春	46759	22.005	120.738	22.0	66071	21.3	33.2	14.5	28.4	998.1	1010.2	8.1
成功	46761	23.099	121.365	34.0	66086	20.6	32.7	11.1	27.5	996.7	1009.2	11.2
蘭嶼	46762	22.039	121.551	324.0	65363	18.9	30.1	15.9	27.8	965.8	977.3	19.6
日月潭	46765	23.883	120.900	1015.0	66044	15	30.7	12.2	23.5	893.2	903.9	6.5
台東	46766	22.754	121.146	9.0	66079	21.4	34.6	14.2	27.4	999.8	1012.6	8.1
七股	46778	23.148	120.069	38.0	65854	21.6	33.4	16.8	26.5	999.5	1011.6	12.5
墾丁	46779	21.903	120.847	29.0	66016	20.7	32.2	17	29	997.3	1009.5	9.7
東沙	46810	20.070	116.717	4.0	6606	23.1	32.3	19.6	27.9	994.6	1009.5	11.4
吉貝	A0W08	23.740	119.604	3.0	62421	22.3	30.9	10.9	28.5	999.7	1012	14.4

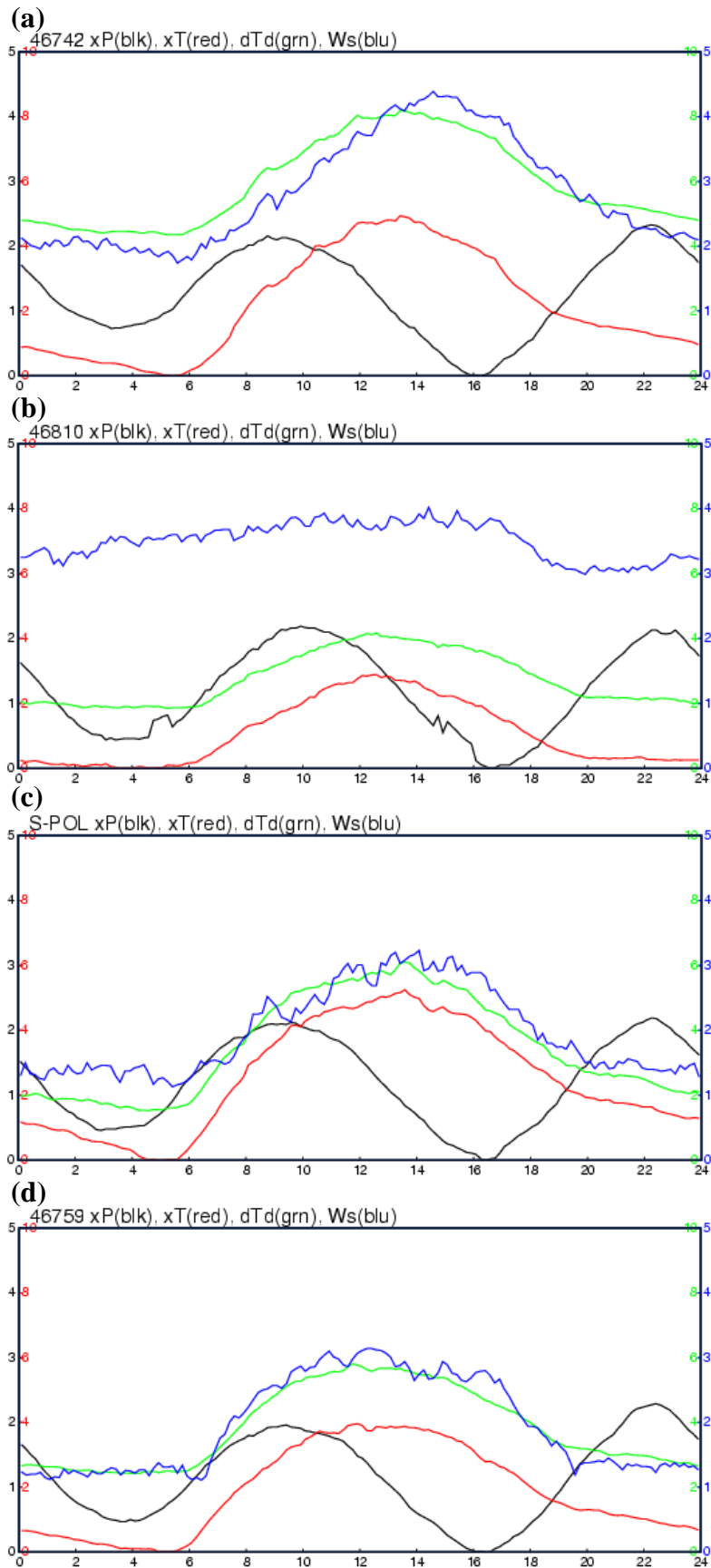


圖 12 不同測站之每 10 分鐘平均的日平均，(a)為永康站、(b)為東沙站、(c)為 S-POL 之 MAWS、及 (d)恆春站。黑線為氣壓差(氣壓減最低氣壓)、紅線為氣溫差(氣溫減最低氣溫)、綠線為溫度露點差、藍線為平均風速，為了與當地時間容易比對，因此本圖橫座標選用地方時 (LST)。

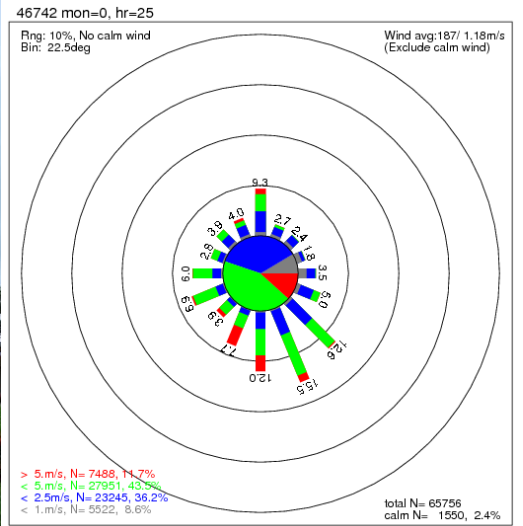


圖 13 永康 (46742)之(a) 地面氣象站、(b)風花圖。

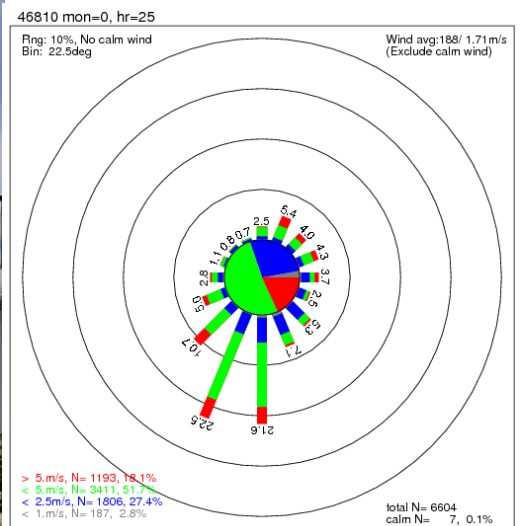


圖 14 東沙 (46810)之(a)地面氣象站、(b)風花圖。

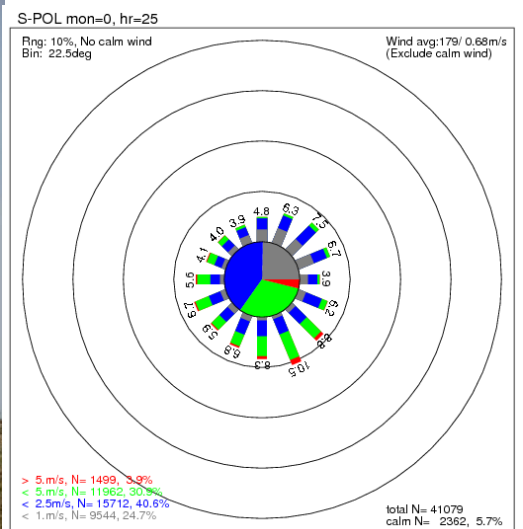


圖 15 設置於 S-POL 之(a)地面氣象站、(b)風花圖。



圖 16 玉井自動氣象站。

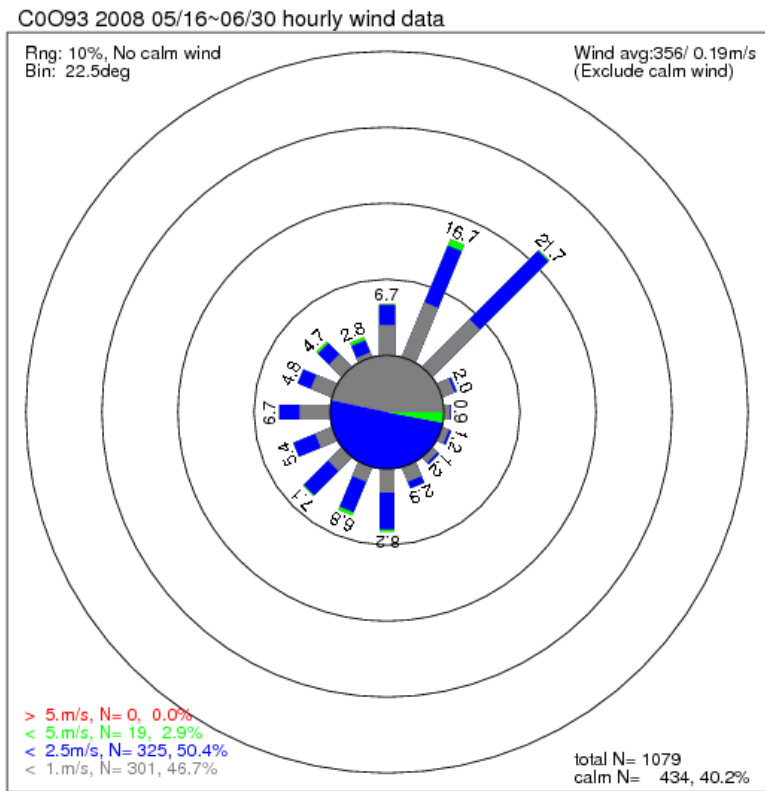


圖 17 玉井氣象站於 2008 年 5 月 15~6 月 30 日間之風花圖。

4.2 七股、墾丁、TEAM-R 與 S-POL 雷達資料：

中央氣象局七股及墾丁雷達站使用德製METEOR 1000S型氣象雷達，屬於S-band（波長為10公分），觀測資料包含基本回波、徑向速度及頻譜寬。雷達回波之觀測範圍為460公里，徑向解析度為1公里，都卜勒徑向速度及頻譜寬之觀測範圍則為230公里，徑向解析度為250公尺，另外，墾丁雷達採用雙往復脈頻(Dual PRF)，可有效提高都卜勒徑向風速的觀測上限(RCKT: $\pm 49.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v.s. RCCG: $\pm 21.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。每一組容積掃描包含九層仰角，分別為 0.5° 、 1.4° 、 2.4° 、 3.3° 、 4.3° 、 6.0° 、 9.9° 、 14.6° 及 19.5° ，時間解析度為10分鐘，也就是每10分鐘會完成一組容積掃描，但墾丁雷達之北面受到地形之阻擋，在最低仰角(0.5°)時，會有約 90° 的掃描死角。

TEAM-R雷達為車載式X-波段雙偏極化雷達，波長為3.12公分，雷達系統由國科會補助，中央大學負責執行，在2008年建構完成，並於2008年5、6月投入西南氣流實驗參與觀測，為全台第一部移動式雙偏極化都卜勒雷達。因為該雷達波長較短，故電磁波通過大雨時，會有降水回波信號衰減之問題。在雙偏極化方面，該雷達同時發射線性之水平及垂直偏振化的電磁波，因此接收時沒有LDR的訊號（與空軍清泉崗、馬公的偏振化方式一樣），除了可提供傳統雷達參數Z（雷達回波）、VE（徑向速度）之觀測資料外，尚可提供 Z_{DR} 、 Φ_{dp} 、 K_{DP} 、 ρ_{hv} 等偏極化參數。因為雷達設計在車體上的原因，在車頭部分會有 90° 的遮蔽區域無法觀測。2008年西南氣流實驗期間主要設置在九如堤防上（北緯 22.7527° ，東經 120.4687° ，高度53公尺），觀測距離100公里，資料解析度125公尺，車頭遮蔽的角度為 155° 到 245° ，使用的資料掃描仰角共有11層，分別是： 0.5° 、 1.8° 、 2.6° 、 3.6° 、 4.7° 、 5.5° 、 6.5° 、 9.1° 、 12.8° 、 14° 和 15° ，每七分三十秒執行一次體積掃描。2009年西南氣流實驗在嘉義朴子(120.2094°E 23.48308°N)觀測，2010年西南氣流實驗在高雄杉林鄉集來農場(120.5744°E 23.0112°N)觀測。

S-POL由美國國科會（National Science Foundation）資助，是一個大型可拆卸組裝型移動式地基雷達，由六個貨櫃所組成，美國大氣科學研究中心（National Center for Atmospheric Research）建造改良以取代之服務氣象界二十多年的雙偏極化雷達CP-2。S-POL從1996年啟用後到2008年，共參加了18次國際型大型實驗，2008年西南氣流實驗期間於新園鄉堤防進行觀測。平常在天線旁會加裝一平行之Ka波段雷達來比對其掃描物體，但2008年實驗期間剛好故障送修。其為線性偏極化的發射，發射及接收電磁波方式為：水平電場發射、水平與垂直電場接收、垂直電場發射、水平與垂直電場接收；因此可以接收到以下的參數：回波反射率因子（ Z_{hh} ）、差分反射率（ Z_{DR} ）、線退比（LDR）、雙偏振相關係數（ ρ_{hv} ）、由於電磁波分成兩組來進行發射與接收，考量到樣本問題，因此S-POL旋轉速度是其他單偏極化雷達的一半以下（ $7.5^\circ/\text{s}$ ）。S-POL為研究用雷達，穩定性跟敏感度都相當高，一般情況下皆使用晴空模式進行觀測，可觀測到中央氣象局現有雷達無法清楚辨識之弱回波線，且S-POL也使用先進演算法套件來即時產生加值產品，包含：降水粒子形態估計（降水粒子辨識），降水累積量，水汽隨距離的變化（從折射指數或雙波長觀測）。

拿到雷達資料後，首先必須先將其轉為sweep之檔案格式，接著再利用NCAR（National Center for Atmospheric Research）研發之soloi軟體來作編輯，主要編輯步驟將分為以下兩部份：首先要先濾除不正確之海面雜波及低仰角之地形回波；接著，因為雷達最大可觀測之徑向速度（Nyquist Velocity）有限，因此於高風速之天氣系統下，常有速度折疊（folding Velocity）之現象，所以，濾除地形及海面雜波後，就必須再將錯誤之徑向速度作反摺（unfolding）。最後，我們可得到一組較合

理之雷達資料，但因為兩顆雷達僅能直接觀測兩個徑向速度場分量，因此，在處理過程中可包含一些其他假設，進而得到三維風場，垂直速度場的獲得乃利用非彈性連續方程做垂直向下積分，並假設終端速度是雷達反射率之函數，最後代入雷達方程中，即可獲得較接近真實之三維風場，有了這些風場資訊後，我們便可進一步去計算天氣系統之輻散度、渦度等參數。表 5 表示於不同高度不同時間下進行多都卜勒雷達可獲得之風場資料，○代表有足夠之風場，△代表僅有些許風場資料，×則代表無合成風場可供分析。若是只使用現行作業雷達 (CG+KT)，那麼幾乎無法獲得三維風場資料，這對於分析天氣系統之動力結構是相當不利的，特別是在觀測資料不足之海面上。S-POL 與七股雷達之搭配成效最佳，幾乎所有個案皆能獲得充足之風場，除了 2008 年 6 月 18 日之弱回波線個案，此個案發生位置距離七股達 100 公里，且一般作業雷達不採用晴空模式，因此，無法觀測到微弱之輻合線。

表 5 多都卜勒雷達風場反演在不同高度、不同時間下可獲得之風場資訊一覽表。

高度	日期	時間 (UTC)	CG+KT	SP+CG	SP+KT	SP+TR	CG+TR	SP+CG+TR
1.0 公里	2008-05-26	0745	×	○	×	×	×	○
		0752	×	○	×	×	×	○
		0800	×	○	×	×	×	○
	2008-06-14	0007	×	○	×	○	○	○
		0015	×	○	×	○	○	○
		0022	×	○	×	○	○	○
	2008-06-18	1845	×	×	×	×	×	×
		1852	×	×	×	×	×	×
		1900	×	×	×	×	×	×
2.0 公里	2008-05-26	0745	×	○	×	×	×	○
		0752	×	○	×	×	×	○
		0800	×	○	×	×	×	○
	2008-06-14	0007	×	○	×	○	○	○
		0015	×	○	×	○	○	○
		0022	×	○	×	○	○	○
	2008-06-18	1845	×	×	×	×	×	×
		1852	×	×	△	×	×	×
		1900	×	×	△	×	×	×
3.0 公里	2008-05-26	0745	×	○	×	×	×	○
		0752	×	○	×	×	×	○
		0800	×	○	×	×	×	○
	2008-06-14	0007	△	○	△	○	○	○
		0015	×	○	△	○	○	○

		0022	×	○	△	○	○	○
	2008-06-18	1845	×	×	×	×	×	×
		1852	×	×	△	×	×	×
		1900	×	×	△	×	×	×
4.0 公里		2008-05-26	0745	×	○	×	×	×
	0752		×	○	×	×	×	○
	0800		×	○	×	×	×	○
	2008-06-14	0007	×	○	×	○	△	○
		0015	×	○	△	○	○	○
		0022	×	○	△	○	○	○
	2008-06-18	1845	×	×	×	×	×	×
		1852	×	×	×	×	×	×
		1900	×	×	×	×	×	×

4.3 ASCAT (Advanced Scatterometer) 衛星風場及擾動氣壓反演法：

在 1999 年 6 月 19 日前，想獲得風場資訊必須透過雲導風（衛星風）之概念，也就是先由地球同步衛星觀測到雲的訊息，再從雲的移動來推算出風場，然而，由這種方法所推算出來的風場對高層風之估計較為準確，但也必定存在著誤差。自 QuikSCAT 衛星升空後，我們便可得到一組直接量測之近海面風向和風速，但 QuikSCAT 已於 2009 年 11 月正式結束觀測。

ASCAT (Advanced Scatterometer) 搭載於歐盟之繞極氣象衛星上，自 2007 年 3 月底即開始運作，衛星軌道於赤道上空約 800 公里處，同一地點每日可掃描兩次（升交/降交），少數情形下會有第三次掃描，通過台灣的升交時間（Ascending Time）約為 0130UTC，降交時間（Descending Time）約為 1400 UTC。ASCAT 空間解析度約為 12.5 公里，使用 C 波段 5.225 GHz 之頻率，較不容易受到雲之干擾，主要是用來測量海面上的風場，對天氣系統之監測、預報、數值模擬之同化或天氣系統的研究有相當大的幫助。於 2008 年 SoWMEX 期間所搜集到三個個案之風場可接近即時提供預報之用，我們將收集到的資料作及時的處理且疊加在衛星雲圖上，接著再進一步使用這些資料來計算近海面之輻散場、渦度場及氣壓場反演，圖中紅色的等值線即為反求之擾動壓力場(perturbation pressure)，擾動氣壓場的求法類似 Gal-Chen (1978) 及 Liu et al. (1997) 的方法。我們可以先定義：

$$\pi(x, y, z) = \pi_0(z) + \pi'(x, y, z) \quad (1)$$

π 為無因次氣壓 $\pi = \left(\frac{P}{P_0}\right)^{R/C_p}$ $P_0=1000\text{hPa}$ ， R 為理想氣體常數， C_p 為定壓比熱， π_0 為靜力平衡壓力，

運動方程式可以改寫為(2)及(3)式 (Gal-Chen 1978, Hare et al 1981, Hare and Ray 1985)

$$\frac{\partial \pi'}{\partial x} = \frac{-1}{C_p \theta_{vo}} \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla u - fv - F_x \right) = A_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial \pi'}{\partial y} = \frac{-1}{C_p \theta_{vo}} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla v - fu - F_y \right) = A_y \quad (3)$$

其中， π' 為無因次擾動氣壓， f 為柯氏參數， F_x 及 F_y 為 x 方向及 y 方向之渦流式， θ_{vo} 為靜力平衡狀態之虛位溫，利用風場可以計算 A_x 及 A_y 項，在此不考慮時間變化項，柯式力項及渦流項，只考慮平流項的貢獻。

$$\frac{\partial \pi'}{\partial x} - A_x \quad \frac{\partial \pi'}{\partial y} - A_y$$

利用變化法最小值約束

$$J = \iint [(\frac{\partial \pi'}{\partial x} - A_x)^2 + (\frac{\partial \pi'}{\partial y} - A_y)^2] dx dy \quad (4)$$

可得到 Poisson 方程式

$$\nabla^2 \pi' = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} \quad (5)$$

由此，我們便可求得數值解 π' ，再反算出真正之擾動氣壓。

以 2010 年 7 月 6 日之個案為例，將 1347 UTC 觀測到之海面風場加以分析(圖 18~20)，先使用 Cressman (1959) 權重函數進行客觀分析，將 ASCAT 風場內差至 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ 網格上，再利用陸地海岸邊之風場資料來反演出擾動氣壓場(圖 19) 並計算渦度場及輻散場(圖 20)。從擾動氣壓場可以看到一擾動高壓正好位在高雄外海，此高壓的存在使得氣流分向南北兩側且加速，渦度場顯示一正渦度場的存在，這個正渦度場提供中小尺度系統發展一個有利的環境，這種訊息對於種小尺度天氣系統的預報相當有幫助，值得預報員注意，故雖然衛星每日經過之區域有限且位置稍有不同，但仍不失為一個很用的觀測平台。

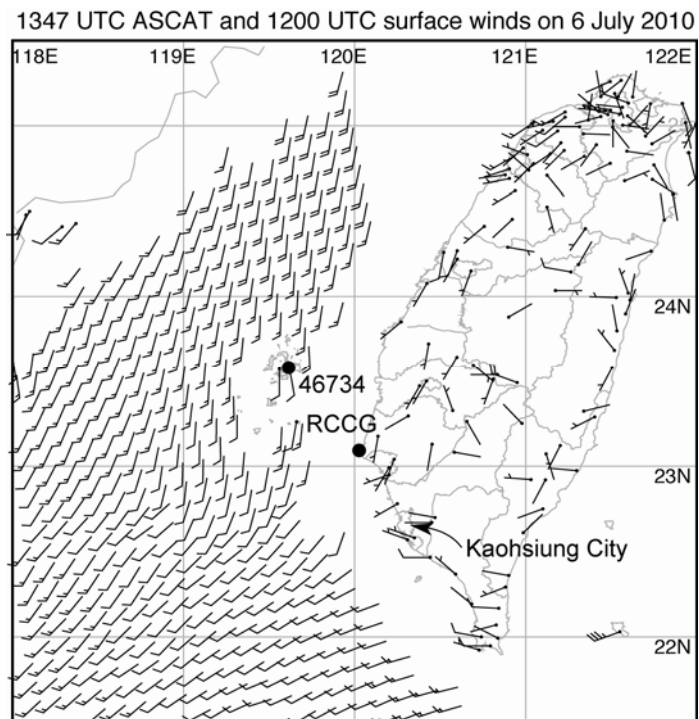


圖 18 2010 年 7 月 6 日 1347 UTC ASCAT 海面風場及地面觀測。

1200 UTC 6 July 2010 analysis wind and P'_{bc}

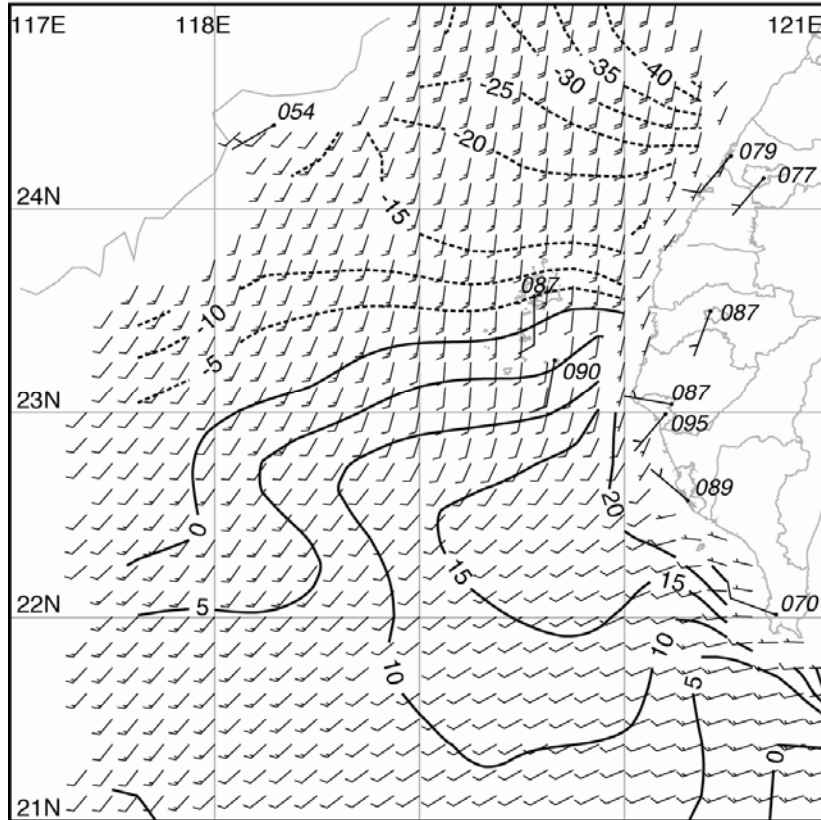


圖 19 2010 年 7 月 6 日 1347 UTC ASCAT 海面風場、擾動氣壓場及地面觀測。

1200 UTC 6 July 2010 vorticity and divergence

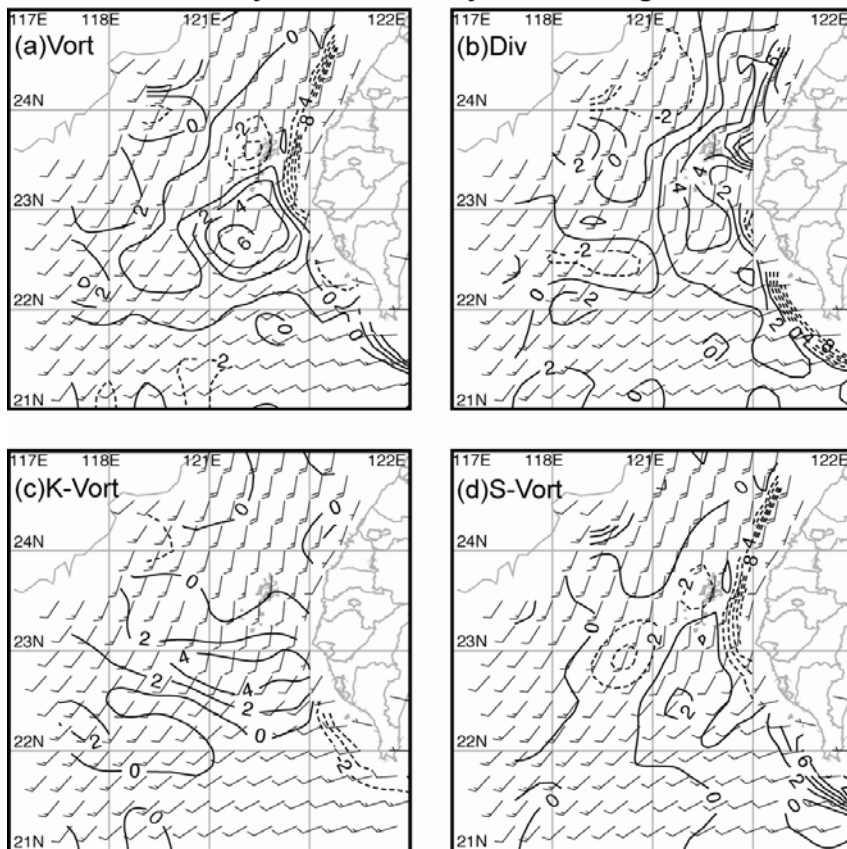


圖 20 2010 年 7 月 6 日 1347 UTC ASCAT 海面風場疊加(a)渦度場、(b)輻散場、(c)曲率渦度場、及(d)風切渦度場。

5. 個案挑選與介紹

S-POL 雷達於實驗期間設置於高屏溪河口，由於敏感度相當高，因此，除了可蒐集到劇烈對流系統之資料，更能觀測到不少弱回波線之個案，故本研究使用 S-POL 雷達資料作為個案選取之依據。本研究選取(A)弱回波線 (weak echo line)、(B)山區對流發展成熟後所產生的外流、及(C)強對流線前緣的中尺度對流系統作為研究之對象，表 6 即為符合條件之個案，個案 A 共發生 15 次，個案 B 出現 2 次，個案 C 則僅有 1 次，圖 21 為所有個案之 S-POL 雷達回波圖，由表 6 亦可發現個案 A 與個案 B 大多發生於非 IOP 期間。(A)及(B)在過去的雷達作業觀測中並不容易被觀測到，這可能是因為回波較弱而未能被作業雷達所偵測，(C)則可觀測到強回波線及強對流線前緣的中尺度對流系統，但這些前緣的中尺度對流系統尺度相當小，且發展相當迅速，往往是預報上的盲點。

弱回波線的產生可能與海陸風有關，且發生地點多位於 S-POL 雷達站西南至南方海面上且與陸地之距離至少 50 公里，其移動方向並不固定，但在移動過程中經常伴隨較劇烈之對流系統。以個案 4 為例(圖 21d)，弱回波線呈南北走向，位於 S-POL 雷達站南方約 50 公里處並隨時間向西移動，在移動的過程中，有許多排列整齊的小對流胞於對流線的右方生成，這些小對流胞生命週期很短，僅能持續約 1 小時左右，並且跟著弱回波線一起消散。圖 22、23 為不同雷達在不同時間所觀測到之雷達回波，當弱回波線剛生成時 (1400 UTC，圖 22)，七股雷達完全沒有觀測到，墾丁雷達也無法完全解析，只有 S-POL 可以清楚地識別出來，1.5 小時後 (1525 UTC，圖 23)，可以清楚地由七股及墾丁雷達看到較強的回波沿著弱回波線發展起來，但這對於預報時效來說稍嫌過慢。個案 7(圖 21g)之弱回波線位於 S-POL 雷達站南方約 70 公里的海面上，同時有 6 條呈東西走向之弱回波線逐漸往東移動並同時伴隨排列整齊的小尺度強對流系統；個案 12(圖 21i)之弱回波線位於 S-POL 雷達站南南西方約 70 公里處，呈東北-西南走向，劇烈的對流系統發生於線狀回波右方，這些小對流系統甚至可發展至 45 dBZ 以上。

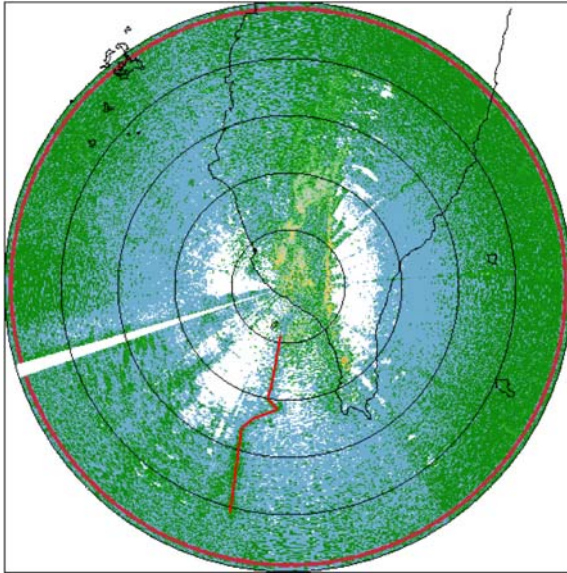
強對流線前緣的對流胞之生命週期僅在 1~2 小時之內，尺度非常小(每一個對流胞之直徑常小於 10 公里)且能在極短的時間內繼續增強成龍捲風或水龍捲等劇烈天氣現象。個案 15 即為一典型之強對流前緣之劇烈對流系統(圖 21o)，強對流線提供了足夠的外力強迫，使得排列整齊的對流胞在此強對流線前緣約 50~70 公里處生成，其移動方向與強對流線之移動方向垂直。

表 6 2008 年西南氣流實驗期間所挑選出之個案列表

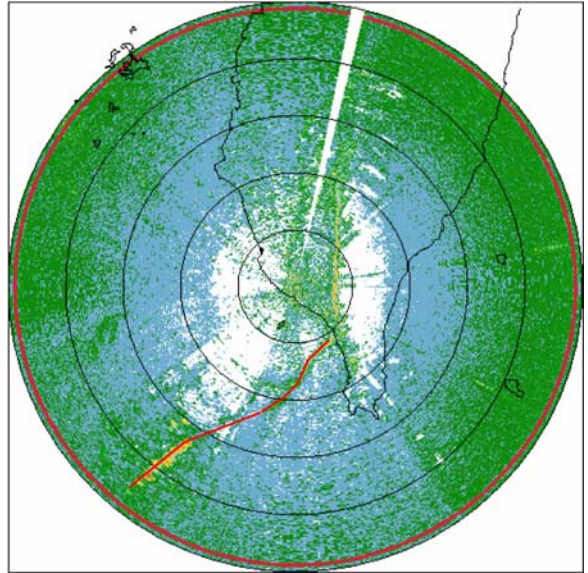
編號	日期	發生時間 (UTC)	IOP	個案分類	可供分析之資料種類
1	05/15	10:50 ~ 14:00	non-IOP	A	南船*1, Upsonde*5, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
2	05/15	16:30 ~ 20:30	non-IOP	A	Upsonde*5, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
3	05/18	22:30 ~ 00:30	non-IOP	A	Upsonde*16, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
4	05/19	11:00 ~ 17:10	IOP-1	A	南船*2, Upsonde*21, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
5	05/26	06:50 ~ 09:30	non-IOP	B	南船*1, Upsonde*9, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet

6	05/27	00:15 ~ 01:45	non-IOP	A	南船*1, Upsonde*9, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
7	05/28	08:00 ~ 13:00	IOP-2	A	南船*2, Upsonde*22, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
8	05/28	17:00 ~ 20:30	IOP-2	A	南船*1, Upsonde*14, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
9	05/29	19:30 ~ 21:30	IOP-2	A	南船*1, Upsonde*19, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
10	05/30	01:00 ~ 01:50	IOP-3	A	南船*1, 北船*1, Upsonde*12, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
11	05/31	17:00 ~ 19:30	non-IOP	A	南船*1, 北船*1, Upsonde*11, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
12	06/01	00:40 ~ 02:30	non-IOP	A	南船*1, 北船*1, Upsonde*11, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
13	06/09	10:00 ~ 00:40	non-IOP	A	南船*4, 北船*4, Upsonde*28, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
14	06/11	18:30 ~ 20:40	non-IOP	A	南船*1, Upsonde*8, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
15	06/13	22:00 ~ 02:00	IOP-8	C	南船*2, Upsonde*16, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
16	06/18	18:00 ~ 20:30	non-IOP	A	南船*2, Upsonde*2, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
17	06/19	07:00 ~ 09:15	non-IOP	B	南船*2, Upsonde*6, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
18	06/20	11:15 ~ 15:45	non-IOP	A	南船*3, Upsonde*8, S-POL, TEAM-R, CWB mesonet
備註	個案 A：弱回波線 個案 B：山區對流發展成熟後所產生的外流 個案 C：強對流線前緣的中尺度對流系統				

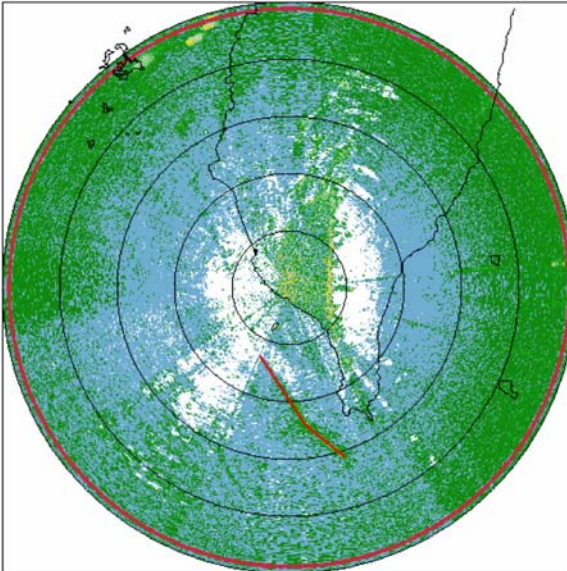
(a) 2008年5月15日 1122 UTC



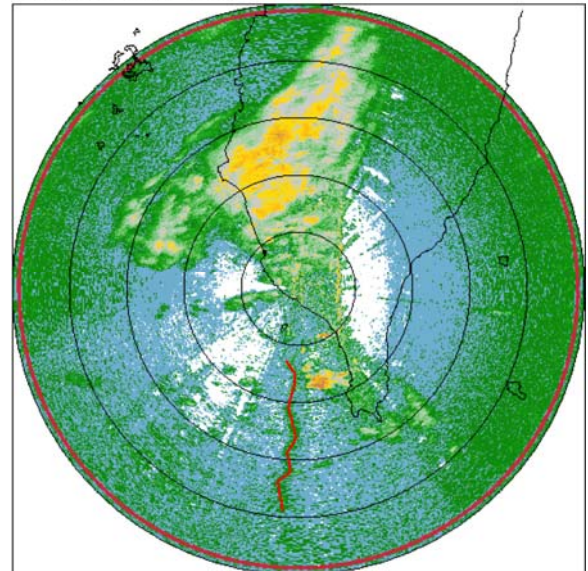
(b) 2008年5月15日 1707 UTC



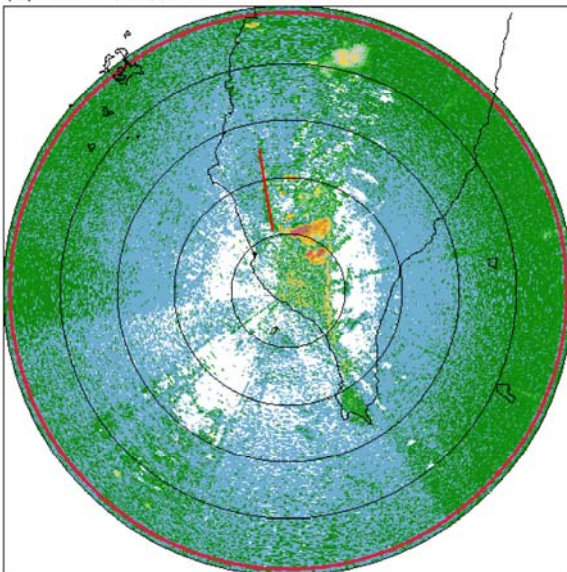
(c) 2008年5月19日 0007 UTC



(d) 2008年5月19日 1400 UTC



(e) 2008年5月26日 0752 UTC



(f) 2008年5月27日 0100 UTC

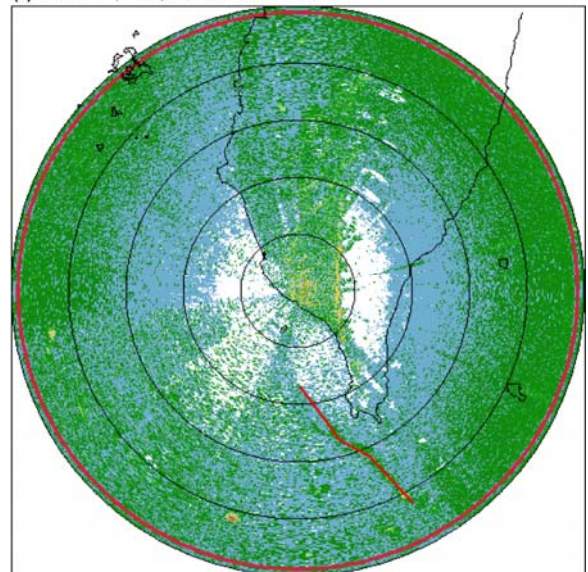
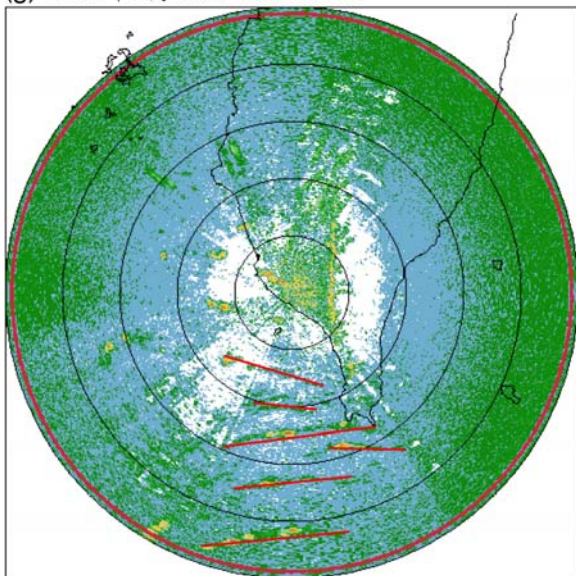
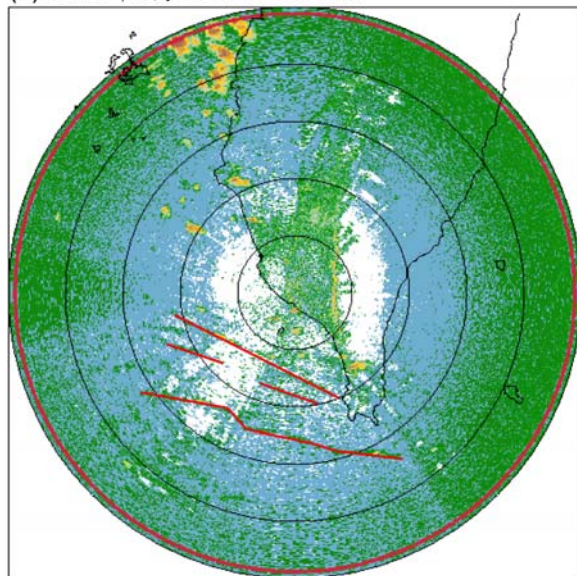


圖 21 所有個案之 0.5 度仰角雷達(S-POL)回波圖。

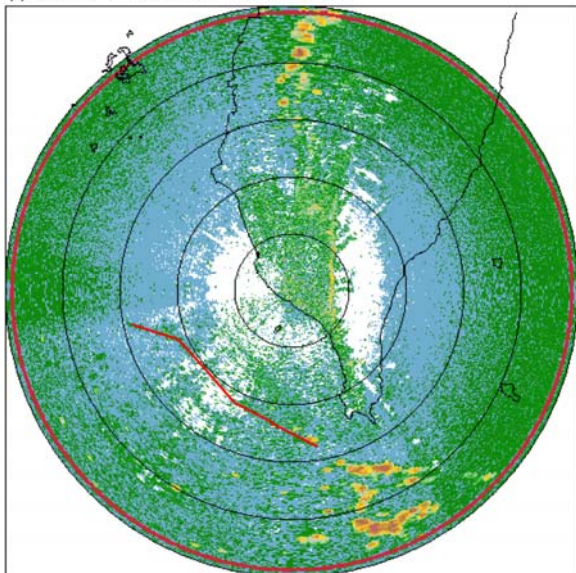
(g) 2008年5月28日 0858 UTC



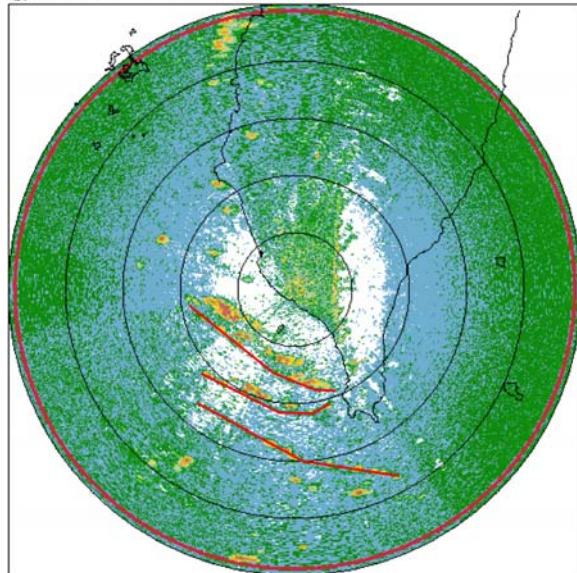
(h) 2008年5月28日 1915 UTC



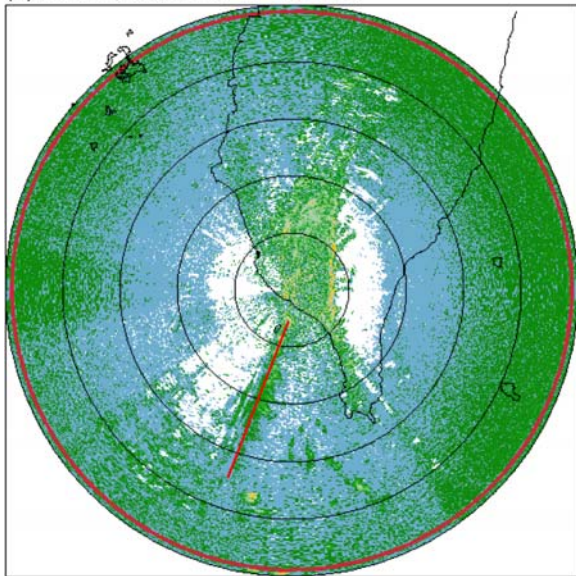
(i) 2008年5月29日 1937 UTC



(j) 2008年5月30日 0107 UTC



(k) 2008年5月31日 1745 UTC



(l) 2008年6月1日 0100 UTC

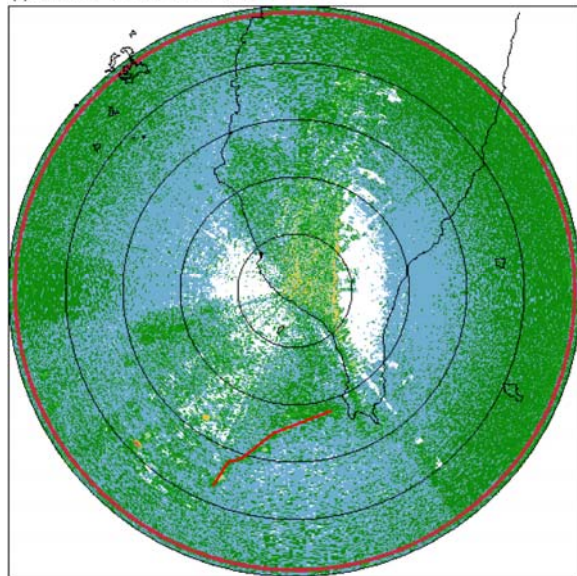
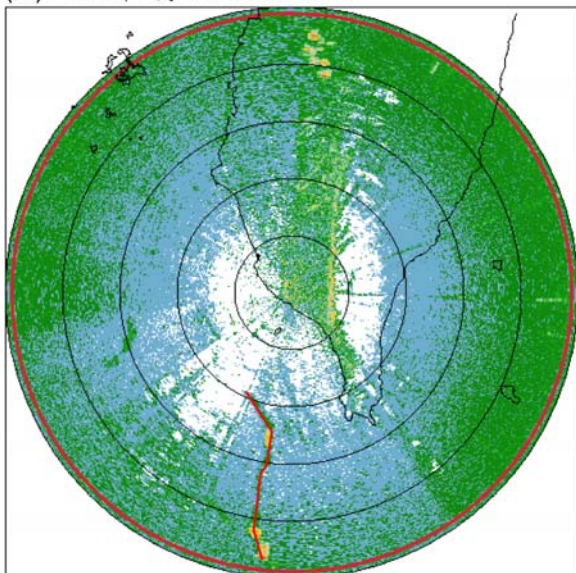
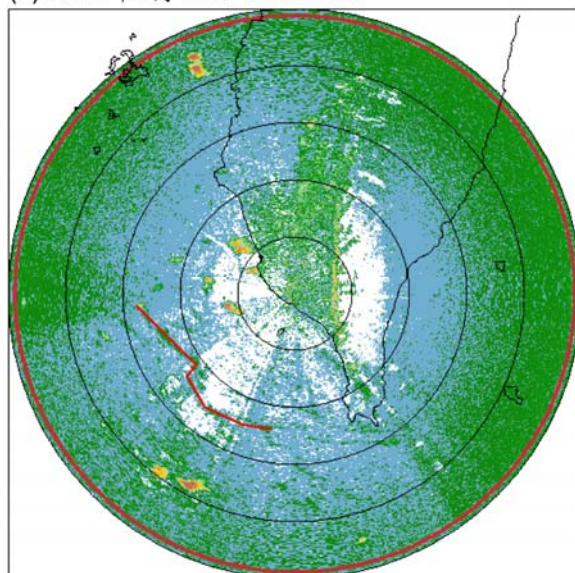


圖 21 續。

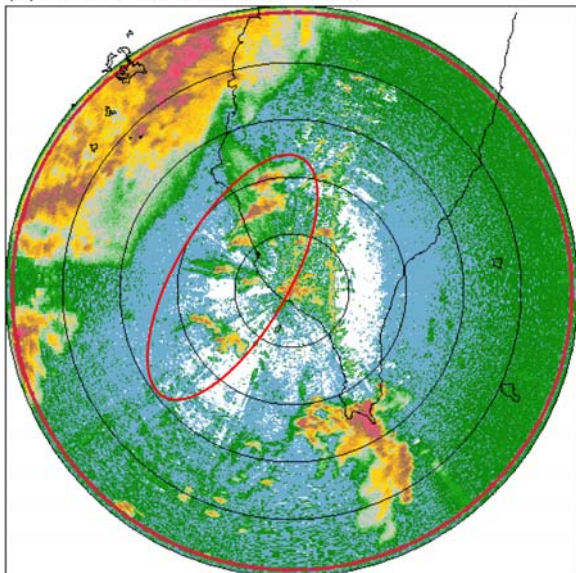
(m) 2008年6月9日 1230 UTC



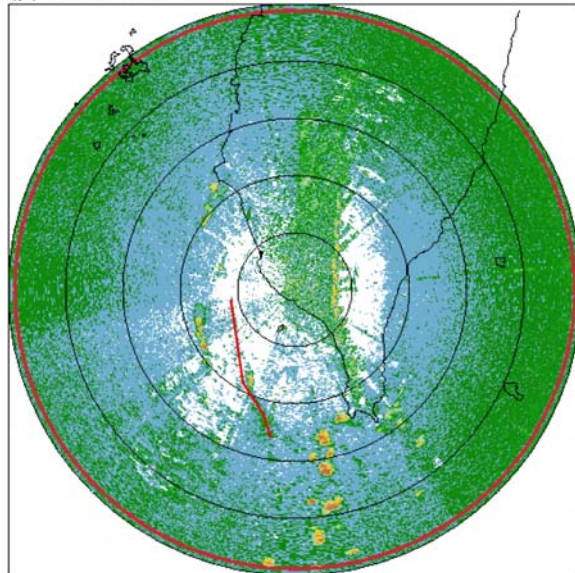
(n) 2008年6月11日 1852 UTC



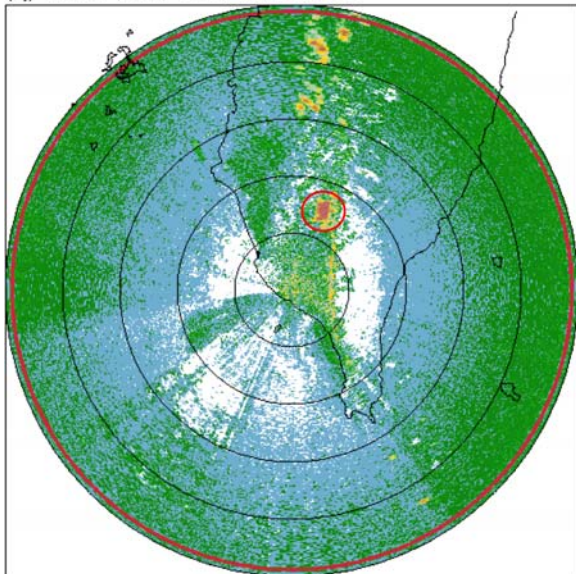
(o) 2008年6月14日 0022 UTC



(p) 2008年6月18日 1852 UTC



(q) 2008年6月19日 0846 UTC



(r) 2008年6月20日 1145 UTC

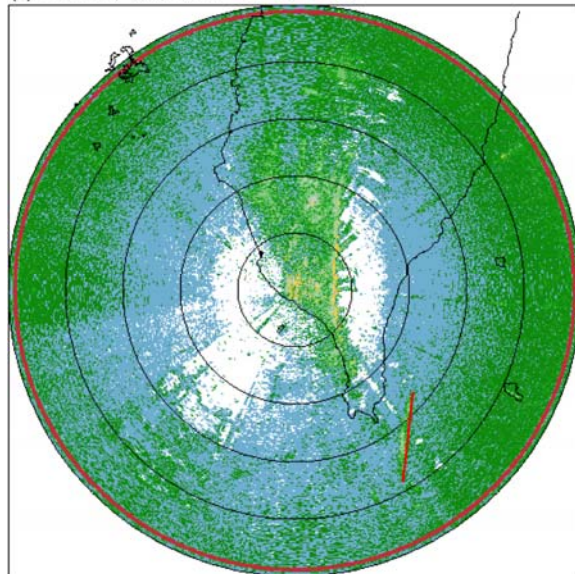


圖 21 續。

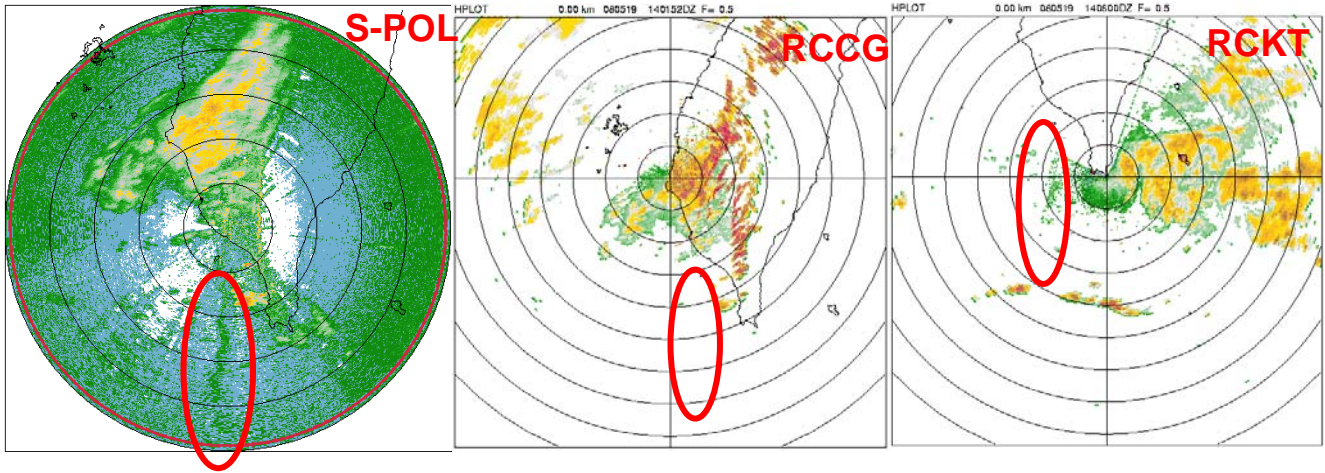


圖 22 2008 年 5 月 19 日 (個案 4) 於 1400UTC 時之雷達回波圖，左圖為 S-POL，中圖為七股雷達，右圖則為墾丁雷達。

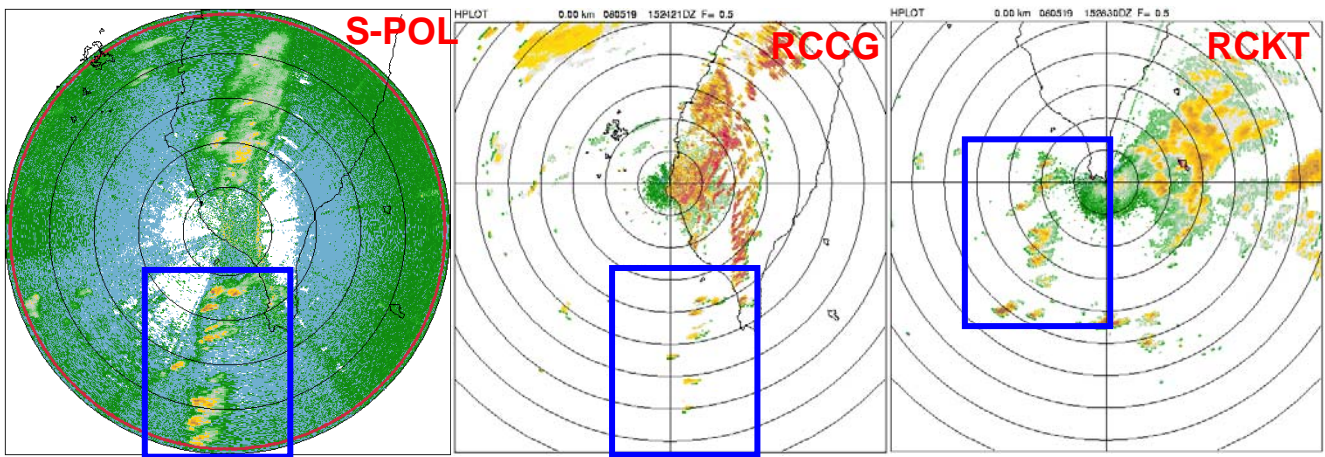


圖 23 2008 年 5 月 19 日 (個案 4) 於 1525UTC 時之雷達回波圖，左圖為 S-POL，中圖為七股雷達，右圖則為墾丁雷達。

6. 個案分析與討論

6.1 2008 年 5 月 26 日：雷暴外流邊界

此個案為雷暴外流個案，外流邊界通過台南站的時間是 5 月 26 日 0730UTC 左右，圖 24 為地面觀測資料之時間序列圖，除了小琉球自動氣象站為每小時一筆外且無露點資料，其餘三站之時間解析度皆為 1 分鐘，而且這些資料是已經經過檢定的。從時間序列 (圖 24) 上可見溫度降低且溫度露點差有些微減小，風向由 300 度轉成 20 度，持續約 10 分鐘左右風向轉為北風，低溫持續到 0820UTC 左右回升。本個案並非很強的外流個案，仍然由測站資料可以表現出來，其餘各站則未受到影響。由 mesonet 站之地面觀測資料 (圖 25) 顯示沿岸以西北風為主，陸地上則較偏北風，風速則僅約 5 knots 左右。接著，我們使用常規作業之探空資料 (屏東站(46750) 5 月 26 日 0000UTC 及 1200UTC) 的探空圖來看，0000UTC (圖 26a) 及 1200UTC (圖 26d) 的探空圖並無明顯的差異，除了 950~900 hPa 的溼度場外，僅可於 1200UTC 之邊界層 (950 hPa 以下) 呈現均勻混合的情況，但無法得知此均勻混合之發生成因，如果由加密探空來看，46750 在 0300UTC (圖 24b) 及 0600UTC (圖 26c) 地面有明顯加溫的現象，這個增溫現象使得邊界層的空气得以均勻混合，雖然天氣系統距離每一個探空站

皆有一段距離，然而，加密探空說明了邊界層的混合過程。

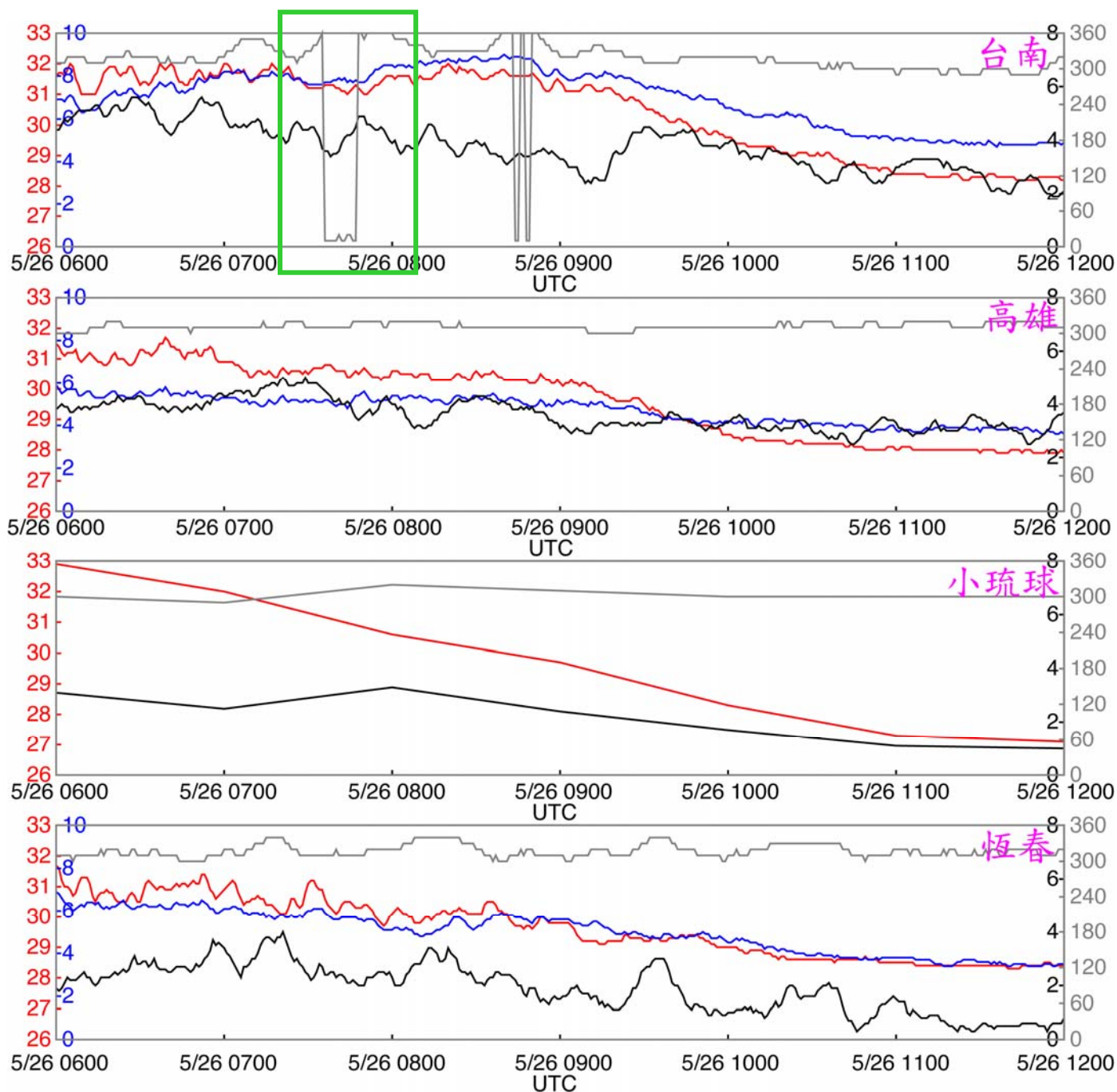


圖 24 2008 年 5 月 26 日台南站 (46741)、高雄站 (46744)、小琉球自動氣象站 (C0R27) 及恆春站 (46759) 之 6 小時時間序列。個案之雷達資料分析時間大約是時間序列之中間時間，紅色線為溫度，藍色線為溫度露點差，黑色線為風速，灰色線為風向。

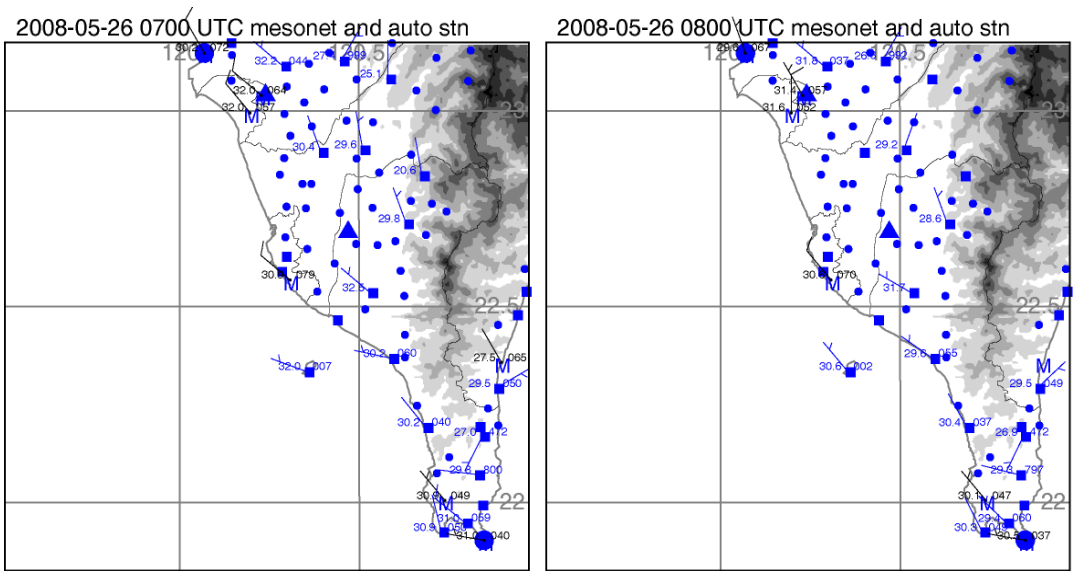


圖 25 2008 年 5 月 26 日(a) 0700 UTC 與(b) 0800 UTC 之地面觀測資料。

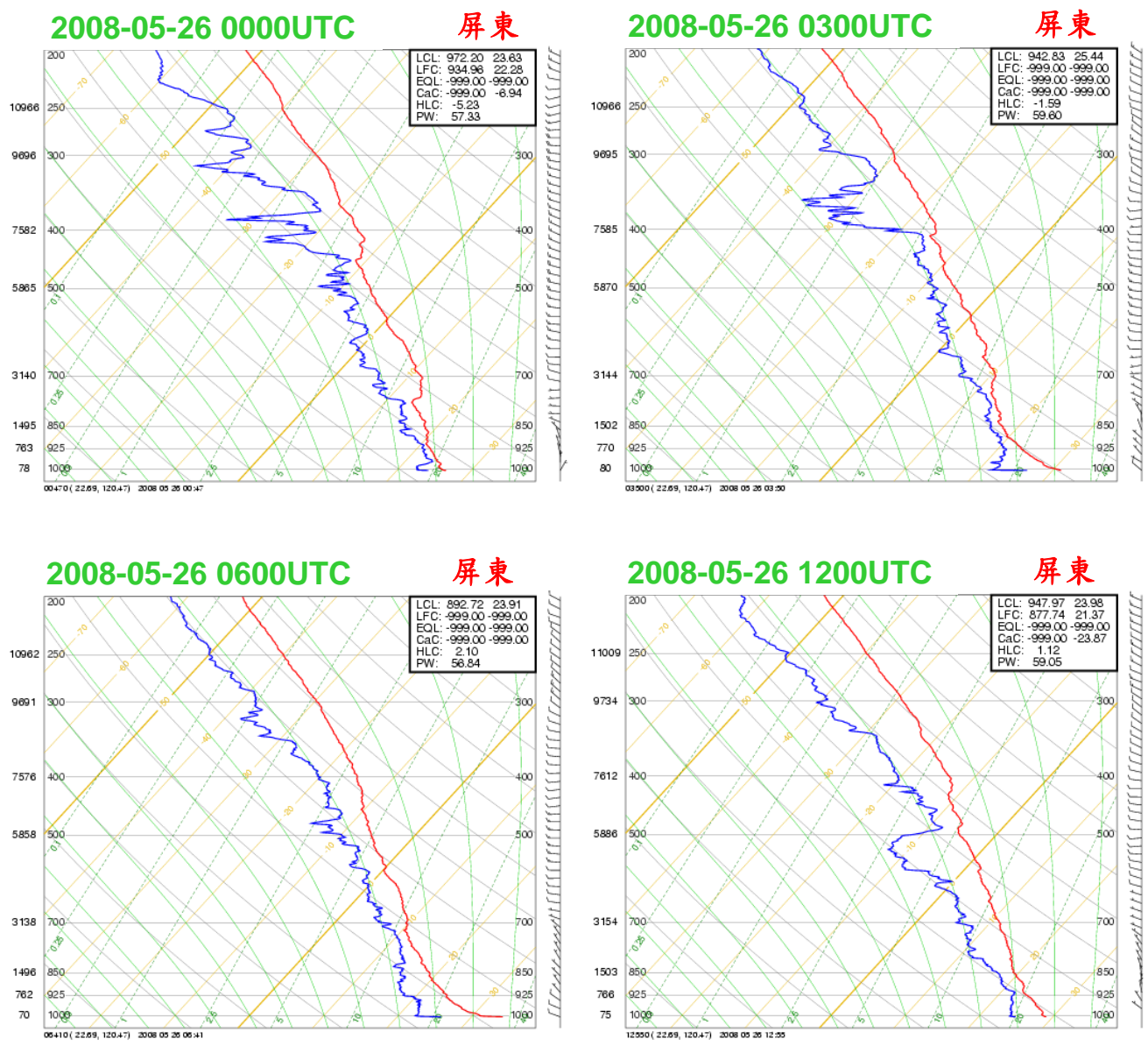


圖 26 2008 年 5 月 26 日屏東探空站(a) 0000 UTC、(b) 0300UTC、(c) 0600UTC (d) 1200UTC 之斜溫圖。

圖 27 為 2008 年 5 月 26 日 1300 UTC ASCAT 的海面風場，衛星由南向北經過台灣南部海面，可以看到海面上微弱的風，且在台灣西南部外海有分流的現象，氣壓反演在台南外海附近呈現出一微弱高壓，由於地形造成的高壓使得氣流分別向南北分流且加速。

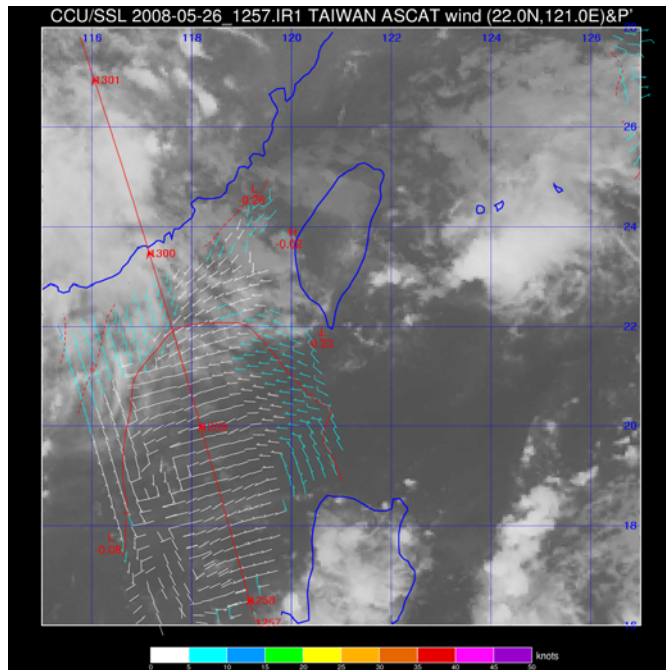


圖 27 2008 年 5 月 26 日 1300 UTC 的 ASCAT 海面風場。

由 5 月 26 日之 S-POL 雷達回波圖可明顯發現外流邊界位於強對流胞前緣(圖 28 左，藍色實線)，且由北側延伸至南側，但七股與墾丁雷達僅可觀測到強對流。由於 TEAM-R 雷達於此個案發生期間內皆採最低仰角進行 PPI 掃描，因此，我們僅使用七股、墾丁與 S-POL 雷達進行風場合成配對。圖 29-31 之結果顯示，七股雷達與墾丁雷達於分析區域內並無法提供雙都卜勒雷達風場合成，相較之下，S-POL 與七股之合成可得到三維風場以供分析，合成風場顯示在強對流處低層為西北風，3 公里以上則以西風分量為主，且風速隨高度遞增；垂直速度場（藍色實線）則顯示 1 公里以下為上升運動，垂直運動場之分佈隨著高度增加而有所不同，3 公里以上清楚可見對流胞前緣已為下沉運動，後緣則為上升運動。由七股與 S-POL 之回波分布情形可明顯發現兩者最大之差異在於回波涵蓋之面積，S-POL 顯然比七股可偵測到更多弱回波。

2008-05-26 0745 UTC

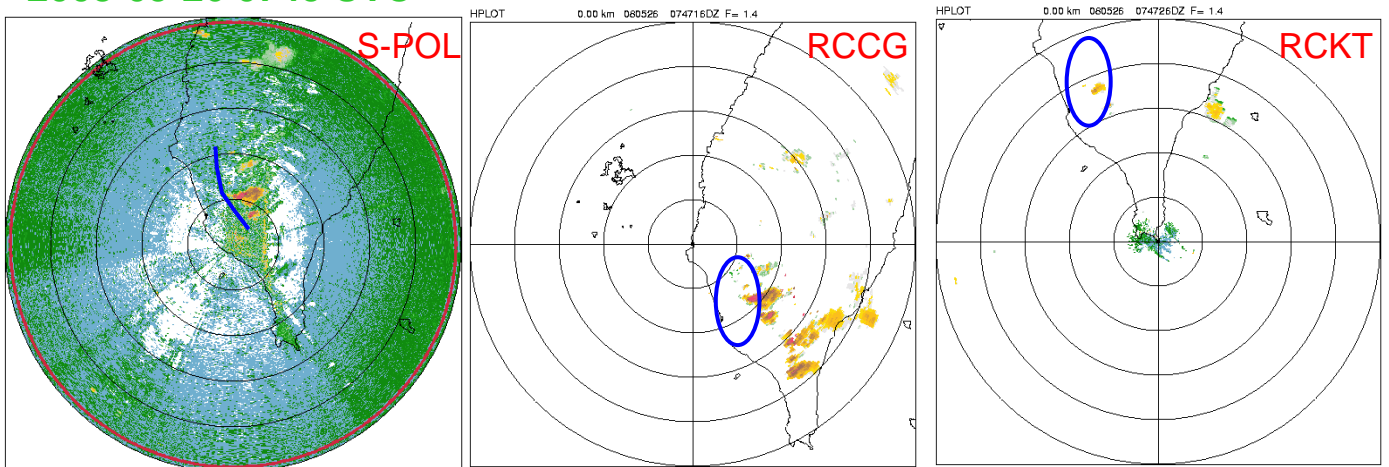


圖 28 2008 年 5 月 26 日於 0745 UTC 時之雷達回波圖，左圖為 S-POL，中圖為七股雷達，右圖則為墾丁雷達。

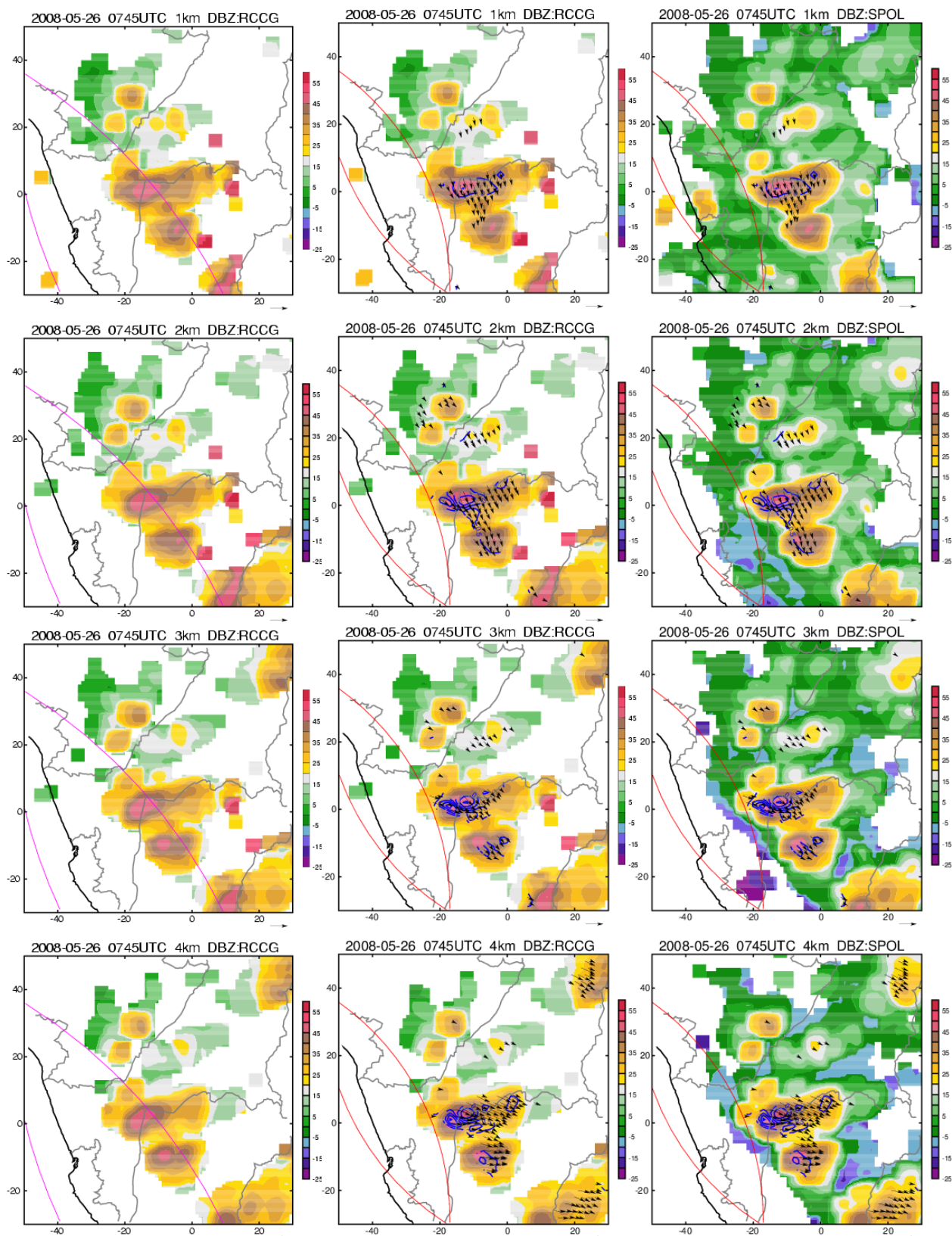


圖 29 2008 年 5 月 26 日 0745 UTC 之雙都卜勒雷達風場合成。第一行為高度 1 公里，第二行為 2 公里，第三行為 3 公里，第四行為 4 公里。左列為七股與墾丁雷達站雙都卜勒風場合成，色階為七股雷達站之雷達回波；中間與右列為七股及 S-POL 雙都卜勒雷達風場合成，色階分別為七股（中）及 S-POL 之雷達回波。藍色實線為垂直速度場。

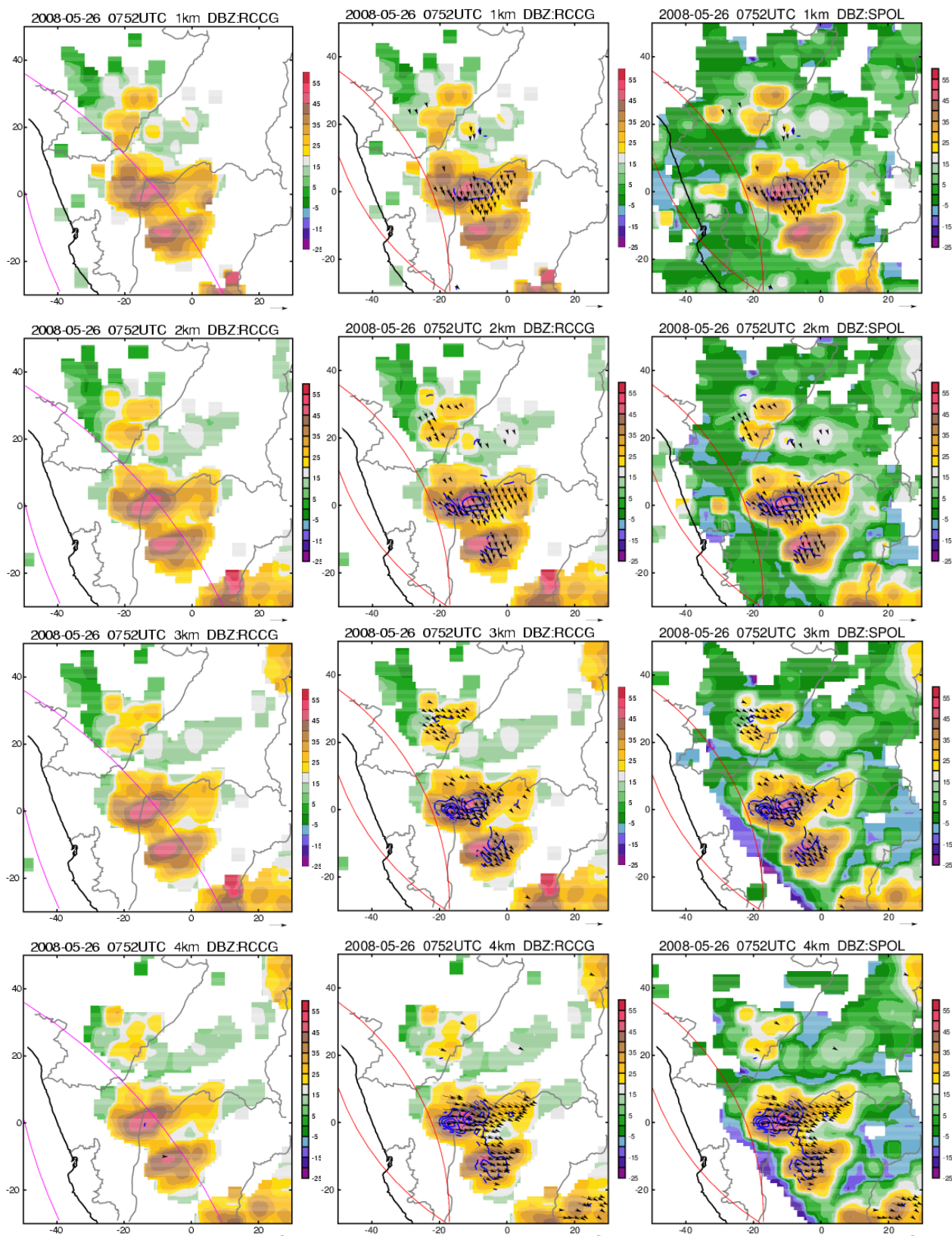


圖 30 2008 年 5 月 26 日 0752 UTC 之雙都卜勒雷達風場合成。第一行為高度 1 公里，第二行為 2 公里，第三行為 3 公里，第四行為 4 公里。左列為七股與墾丁雷達站雙都卜勒風場合成，色階為七股雷達站之雷達回波；中間與右列為七股及 S-POL 雙都卜勒雷達風場合成，色階分別為七股（中）及 S-POL 之雷達回波。藍色實線為垂直速度場。

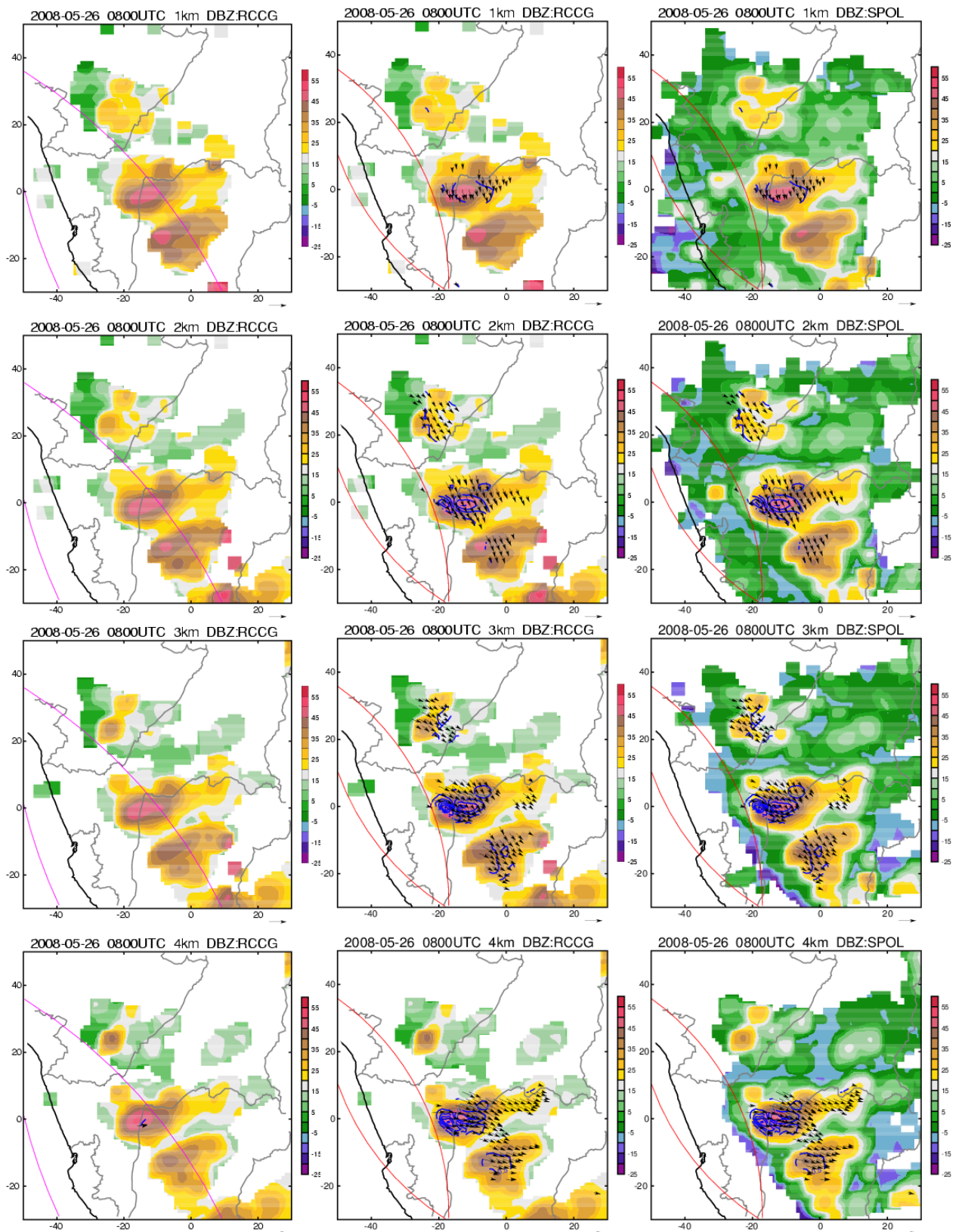


圖 31 2008 年 5 月 26 日 0800 UTC 之雙都卜勒雷達風場合成。第一行為高度 1 公里，第二行為 2 公里，第三行為 3 公里，第四行為 4 公里。左列為七股與墾丁雷達站雙都卜勒風場合成，色階為七股雷達站之雷達回波；中間與右列為七股及 S-POL 雙都卜勒雷達風場合成，色階分別為七股（中）及 S-POL 之雷達回波。藍色實線為垂直速度場。

6.2 2008 年 6 月 14 日：強對流線前緣之對流系統

強對流線前緣之對流系統常發生於梅雨季且有時會伴隨劇烈之天氣現象，這一類之對流胞可在相當短的時間內（通常少於 1 小時），因此，想要準確預測這些對流胞之生成是相當困難的。表 7 為 2006 年至 2009 年間發生於台灣附近的強對流線前緣之劇烈對流系統，平均每年發生 2 次，且劇烈對流胞常生成於強流線前緣約 50~100 公里處，平均持續時間約為 3 小時。

表 7 2006 年至 2009 年期間發生之強對流線前緣對流系統。

年	日期	強對流線出現時間 (UTC)	對流胞出現時間 (UTC)
2006	06-01	1500~1900	1700~1800
2007	04-17	1000~2000	1700~1900
	06-06	1400~0000(6/7)	1600~1900
2008	05-05	0000~0300	0000~0230(6/14)
	06-13	1800~0200(6/14)	2000~0100
2009	04-19	2200~0300(4/20)	2300~0200(4/20)
	06-04	0000~0800	0200~0300

地面天氣圖顯示於 0000 UTC 時（圖 32a），台灣附近無顯著之天氣系統，此時，鋒面仍位於中國大陸北方上空，距離台灣尚有約 1000 公里遠，但台灣地區附近有一道相當強之對流線存在（圖 32b），圖 33 為根據雷達回波所定義出強對流線在不同時間下之位置，移動速度比一般典型之鋒面系統快，平均移動速度約為 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，為一飆線 (Squall line)，當強對流線接近台灣時，移動速度明顯變慢，雨帶在移入台灣陸地後快速消散，並有新雨帶於主要對流線後方產生。在 2300~0200 UTC 間，共有三波排列成線狀之強對流胞發生於強對流線前緣，本研究主要針對發生於 0000 UTC 左右之第二波進行分析。

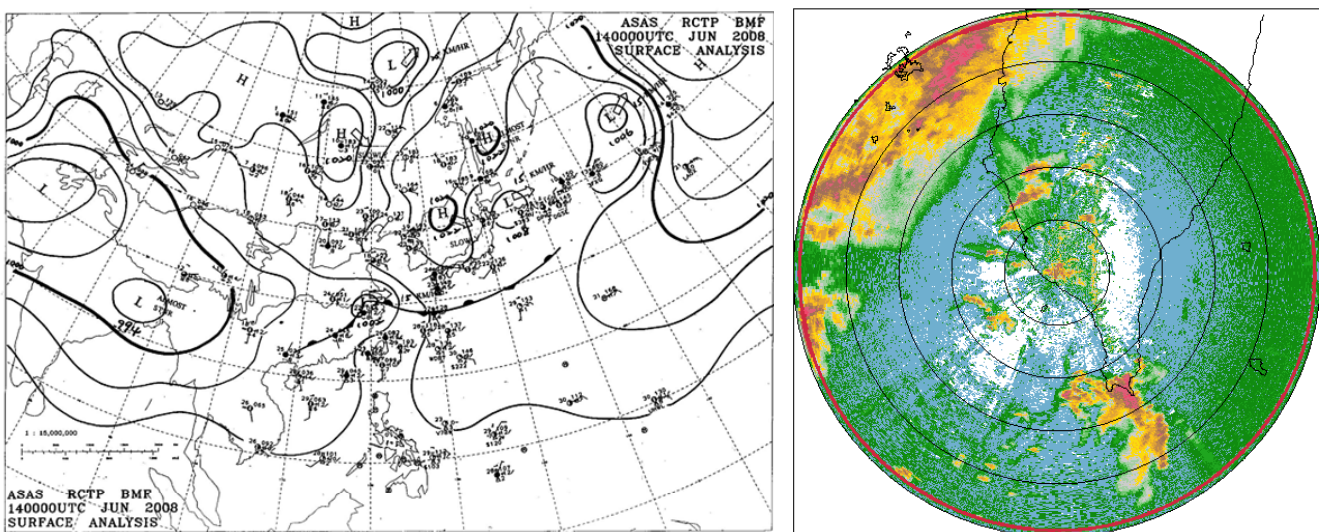


圖 32 2008 年 6 月 14 日 (a)0000 UTC 之地面天氣圖，(b)0022 之 S-POL 雷達回波圖。

2008-06-13~14 RCCG

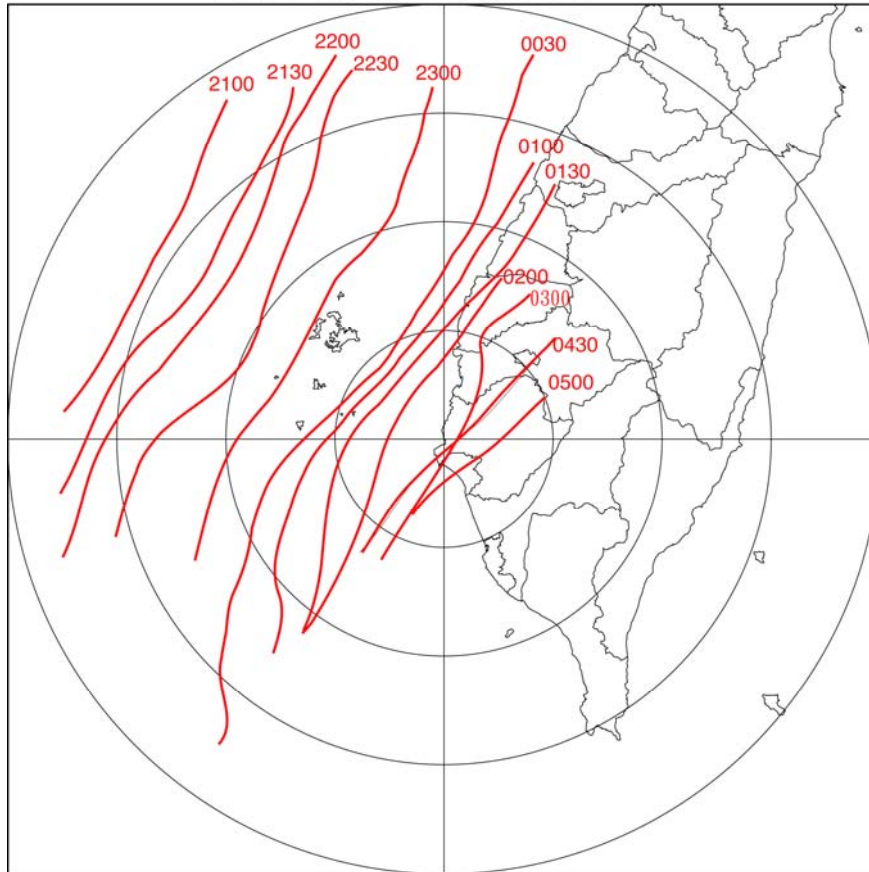


圖 33 強對流線位置之時間序列圖。

由雷達回波圖可發現從 13 日 2100UTC~14 日 0200UTC 期間共有三波排列整齊之對流系統由西南往東北移動，其中，第一波和第三波通過台南站，第二波通過高雄站。第一波於 13 日 2130UTC 左右有對流胞經過台南站附近，分析台南地面測站之觀測資料（圖 34）後發現溫度降低、溫度露點差升高，而風向與風速則僅有些微變化，由於是鋒前暖區且剛好為日出時間，所以台南站之溫度升高；第二波於 2240UTC 通過高雄，高雄的風向與溫度露點差有明顯改變，且有下雨的情形；最後一波經過台南時，僅風速增強，其他參數無顯著改變。恆春站並未直接受到此類對流胞影響，但仍有其他強對流系統通過，當強對流通過時，各氣象參數也有明顯改變。mesonet 站之地面觀測資料（圖 35）顯示台灣西南部沿海有很強的偏東南風分量，在小琉球甚至可達到 20 knots，但風速在陸地上快速減弱，台南、永康及高雄站皆在 10 knots 以下；台灣南部之測站則為微弱之西南風。

常規之探空資料有屏東站(46750)6 月 13 日 1200UTC(圖 36a)及 6 月 14 日 0000UTC(圖 36b)，這兩個探空說明了對流線經過前及經過後大氣環境場變潮溼，且風速加強，但無法掌握系統發生前之大氣環境條件狀況，而 0300UTC(圖 37a)的屏東站加密探空則說明了大氣由 950hPa~450hPa 幾乎都是飽和狀態，說明了大氣環境遠比預期來得潮溼，這個現象對於數值模式的同化會有明顯的改進，將可增加定量降水預報(QPF)的準確性。6 月 13 日 1800UTC(圖 37b)及 2100UTC(圖 38a)台南探空說明系統來臨前的大氣情況，1800UTC 的探空可以發現在 480hPa 附近有一微弱的穩定層配合微弱的風向變化，這個現象或許說明了上下兩層有不同的空氣，在穩定層以上較潮溼，以下則較乾且南風很強，2100UTC 時，低層變溼一點，但 850hPa 以上溫度變冷了，850hPa 以下仍然是暖空氣的熱力，到了 14 日 0000UTC 時(圖 38b)，整個大氣溫度變冷且潮溼但是低層風速仍然很強，而且大氣的螺旋度(Helicity)也有利小尺度旋轉系統的發展。

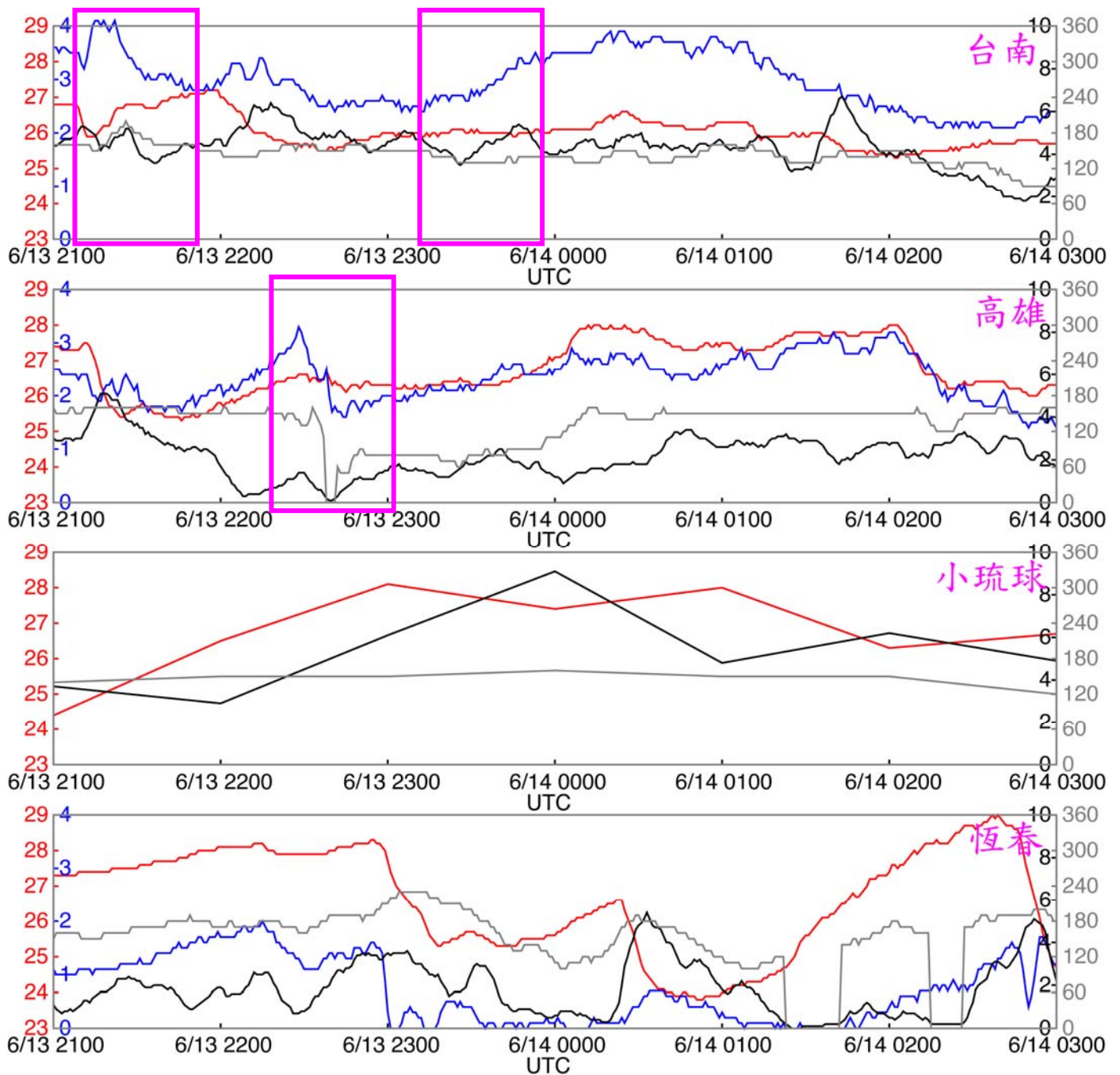


圖 34 2008 年 6 月 13~14 日台南站 (46741)、高雄站 (46744)、小琉球自動氣象站 (C0R27) 及恆春站 (46759) 之 6 小時時間序列。個案之雷達資料分析時間大約是時間序列之中間時間，紅色線為溫度，藍色線為溫度露點差，黑色線為風速，灰色線為風向。

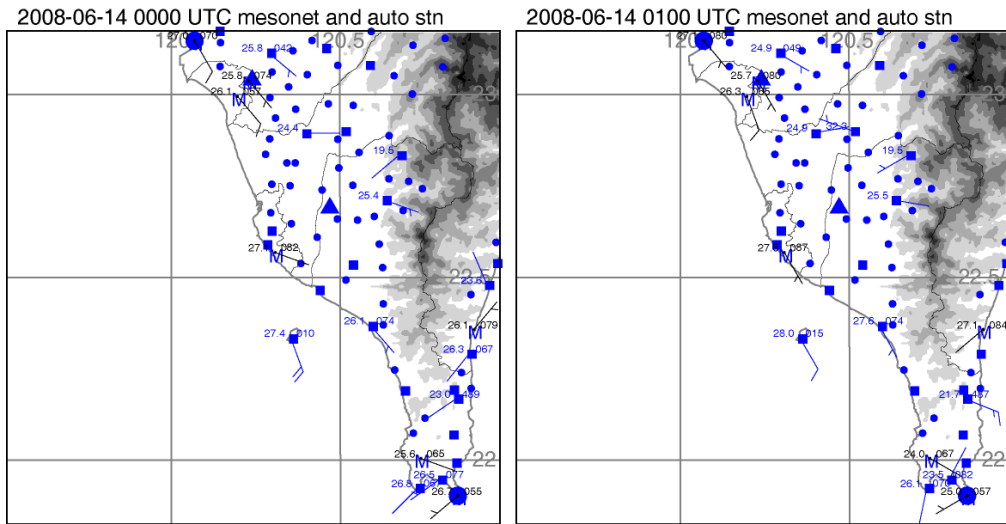


圖 35 2008 年 6 月 14 日(a) 0000 UTC 與(b) 0100 UTC 之地面觀測資料。

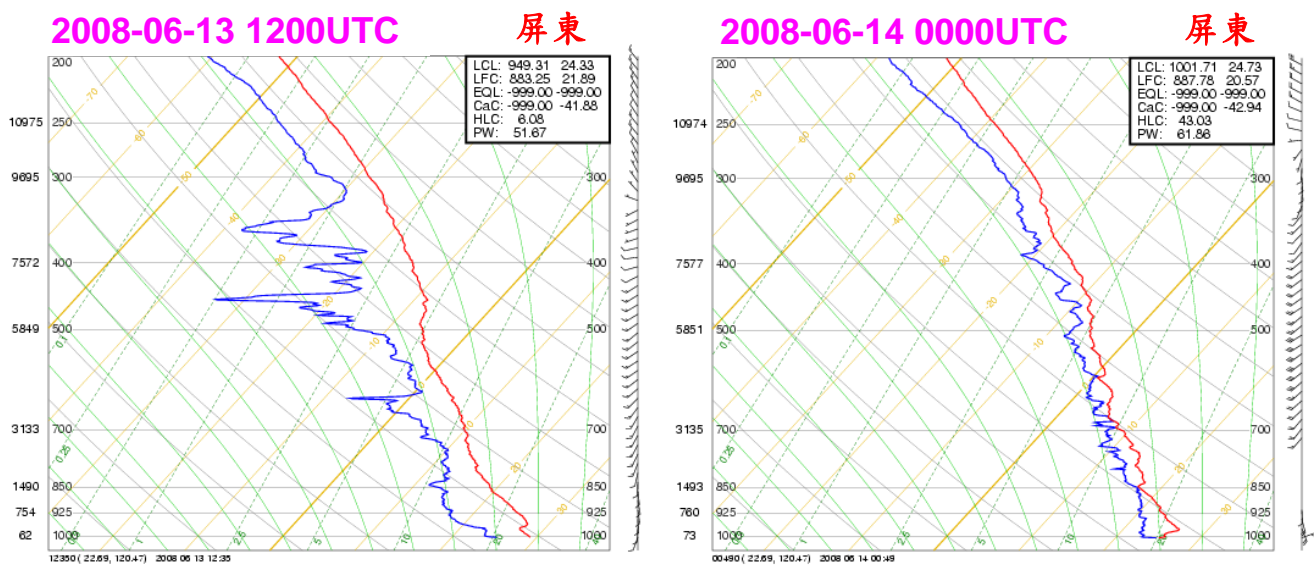


圖 36 2008 年 6 月 (a) 13 日 1200 UTC、(b) 14 日 0000 UTC 屏東探空站之斜溫圖。

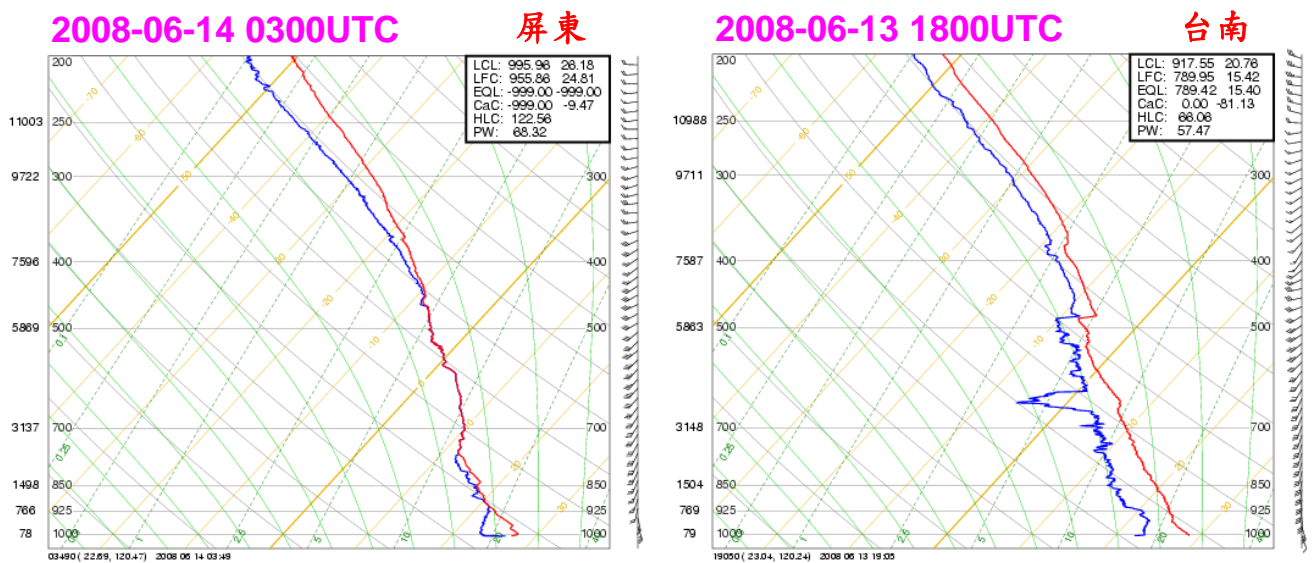


圖 37 2008 年 6 月(a) 14 日 0300 UTC 屏東探空站、(b) 13 日 1800 UTC 台南探空站之斜溫圖。

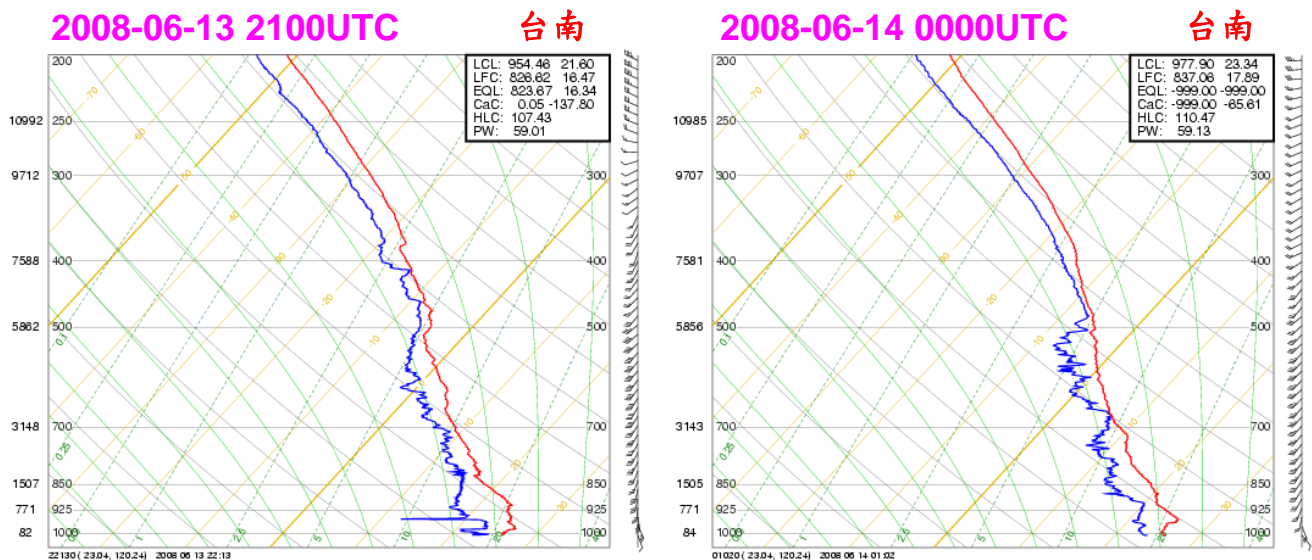


圖 38 2008 年 6 月(a) 13 日 2100 UTC、(b) 14 日 0000 UTC 台南探空站之斜溫圖。

這一類之對流較強，因此，從圖 39 已可發現 S-POL、七股已經可以完全解析，而墾丁雷達受限於距離過遠，無法完全掌握此系統之演變。多都卜勒雷達之分析結果顯示（圖 40-42），七股雷達與墾丁雷達於分析區域內並無法提供雙都卜勒雷達風場合成，相較之下，加入 S-POL 及 TEAM-R 進行三都卜勒雷達風場合成後可獲得一組相當完整之三維風場資料。由多都卜勒合成風場分析顯示，風向分布相當均勻，強對流胞上並無旋轉之現象發生，沿岸仍以西南風為主，但進入陸地後隨即轉成偏南風，風速則隨高度增強，大約在 3 公里處達到最強，且對流核中心具有較強之風速，兩側則相對較弱。在海面上，對流胞可發展至 4 公里，但當其移入陸地時，系統有減弱之趨勢，到 4 公里時已經無法看到 45dBZ 以上之回波值。垂直速度場（藍色實線）顯示對流胞上有強上升運動，此上升運動之強度會隨高度遞增。若是比較七股雷達站（中列）與 S-POL（右列）之雷達回波可發現在較強回波下，兩者之回波值差異不大，這些小對流胞皆可發展至 45 dBZ 以上，另一方面，S-POL 可偵測到較多弱回波，這主要是因為 S-POL 之敏感度高於七股雷達，雖然七股也能切換至晴空模式以提高雷達敏感度，但會有較多之雜波需透過人工處理，對於作業雷達來說是較不適合的。

2008-06-14 0015 UTC

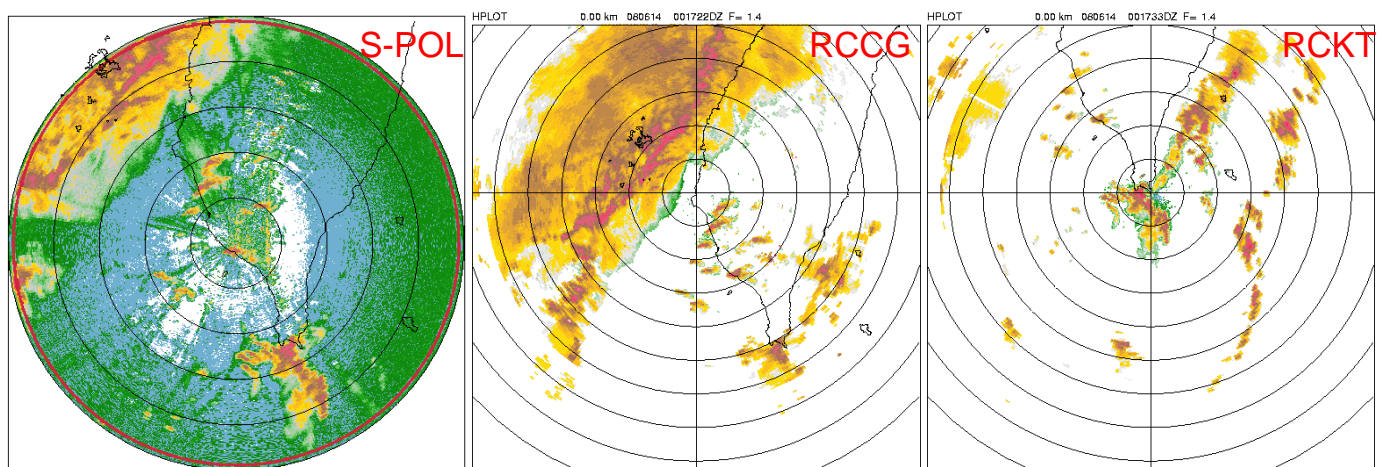


圖 39 2008 年 6 月 14 日於 0015 UTC 時之雷達回波圖，左圖為 S-POL，中圖為七股雷達，右圖則為墾丁雷達。

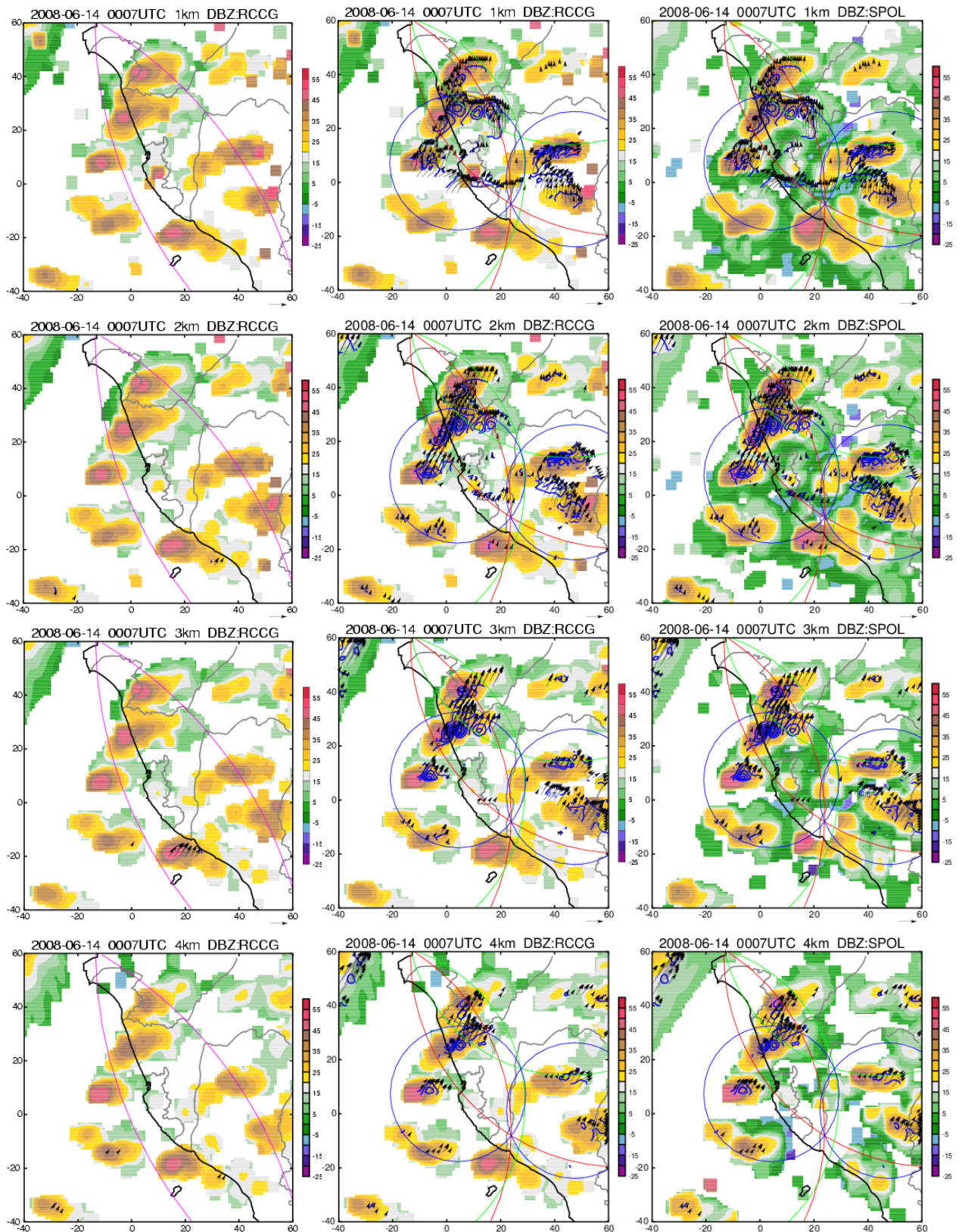


圖 40 2008 年 6 月 14 日 0007 UTC 之多都卜勒雷達風場合成。第一行為高度 1 公里，第二行為 2 公里，第三行為 3 公里，第四行為 4 公里。左列為七股與墾丁雷達站雙都卜勒風場合成，色階為七股雷達站之雷達回波；中間與右列為七股、S-POL 及 TEAM-R 之多都卜勒雷達風場合成，色階分別為七股（中）及 S-POL 之雷達回波。藍色實線為垂直速度場。

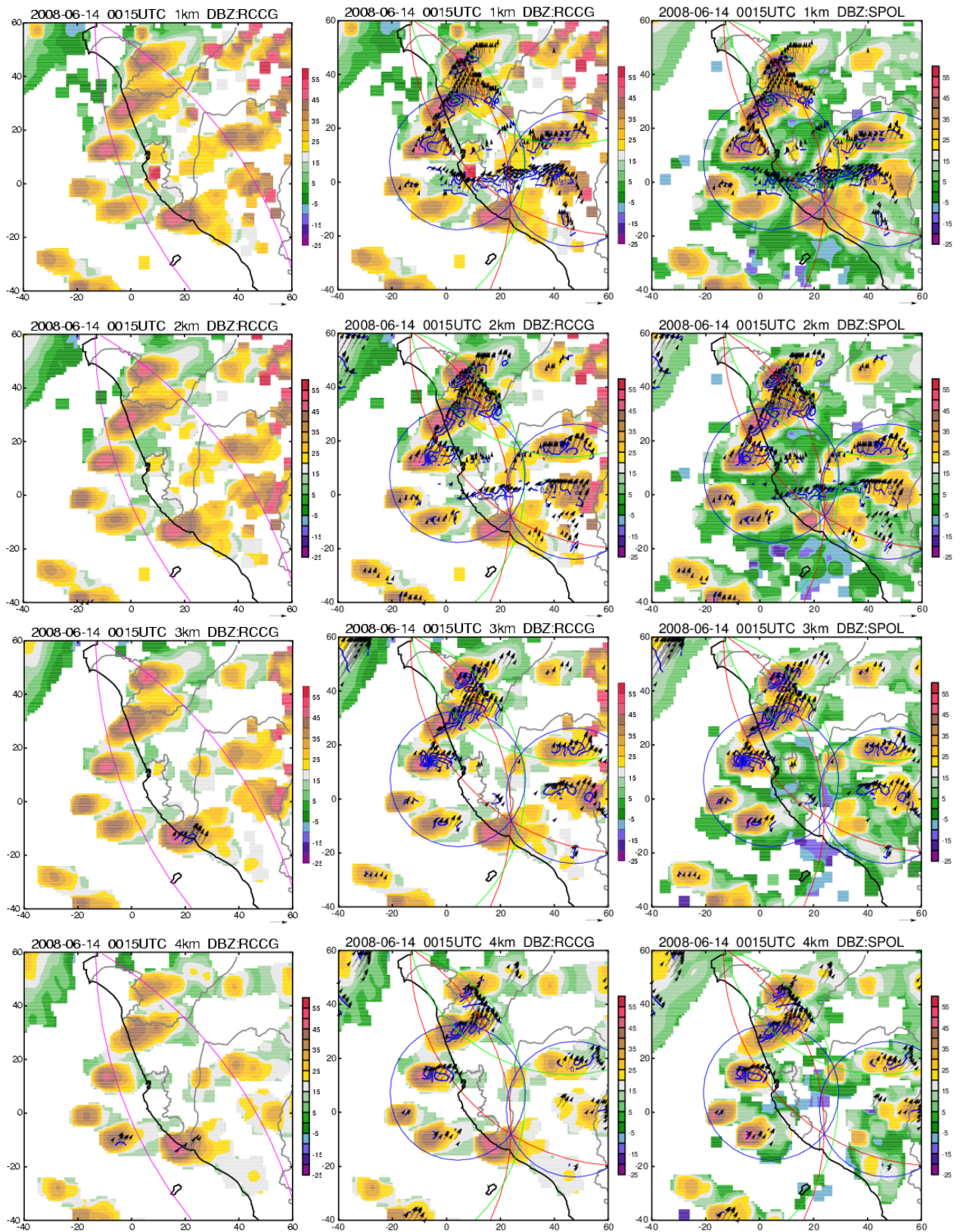


圖 41 2008 年 6 月 14 日 0015 UTC 之多都卜勒雷達風場合成。第一行為高度 1 公里，第二行為 2 公里，第三行為 3 公里，第四行為 4 公里。左列為七股與墾丁雷達站雙都卜勒風場合成，色階為七股雷達站之雷達回波；中間與右列為七股、S-POL 及 TEAM-R 之多都卜勒雷達風場合成，色階分別為七股（中）及 S-POL 之雷達回波。藍色實線為垂直速度場。

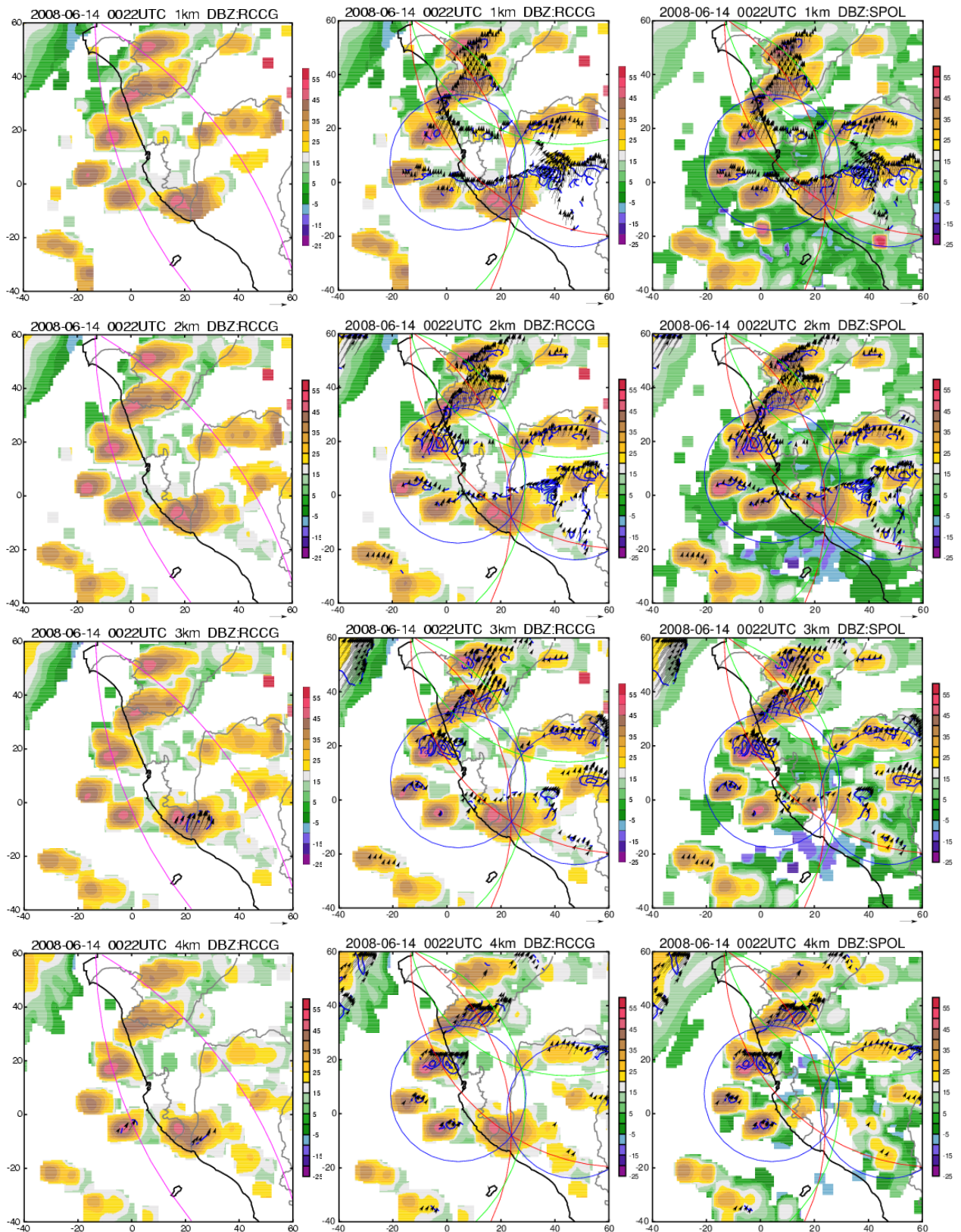


圖 42 2008 年 6 月 14 日 0022 UTC 之多都卜勒雷達風場合成。第一行為高度 1 公里，第二行為 2 公里，第三行為 3 公里，第四行為 4 公里。左列為七股與墾丁雷達站雙都卜勒風場合成，色階為七股雷達站之雷達回波；中間與右列為七股、S-POL 及 TEAM-R 之多都卜勒雷達風場合成，色階分別為七股（中）及 S-POL 之雷達回波。藍色實線為垂直速度場。

圖 43 與 44 為 2008 年 6 月 13 日 0130 UTC 及 6 月 14 日 0130 UTC ASCAT 之近海面風場，此個案為強對流個案，圖 43 顯示台灣南部至西南部海面上為東南風，但台中以北則為西南風，另外從反演出之擾動氣壓場可發現恆春外海有一微弱之高壓存在。24 小時後（圖 44），鋒面前緣接近台灣，ASCAT 恰好偵測到鋒面前緣之近海面風場，可惜的是，則由於衛星每日經過的區域有限而且位置稍有不同，因此在這個時間點，並無法得到對流胞發生位置之風場資料，雖然觀測區域有時候不盡理想，但 ASCAT 對於缺乏觀測資料之洋面上來說，仍為一個相當有用處之觀測平台。

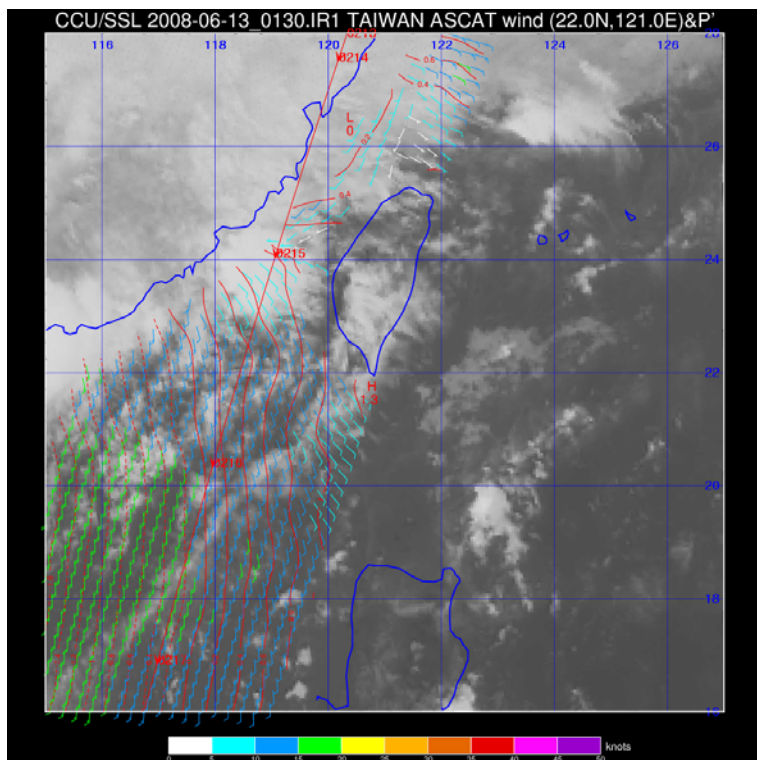


圖 43 2008 年 6 月 13 日 0130 UTC 的 ASCAT 海面風場。

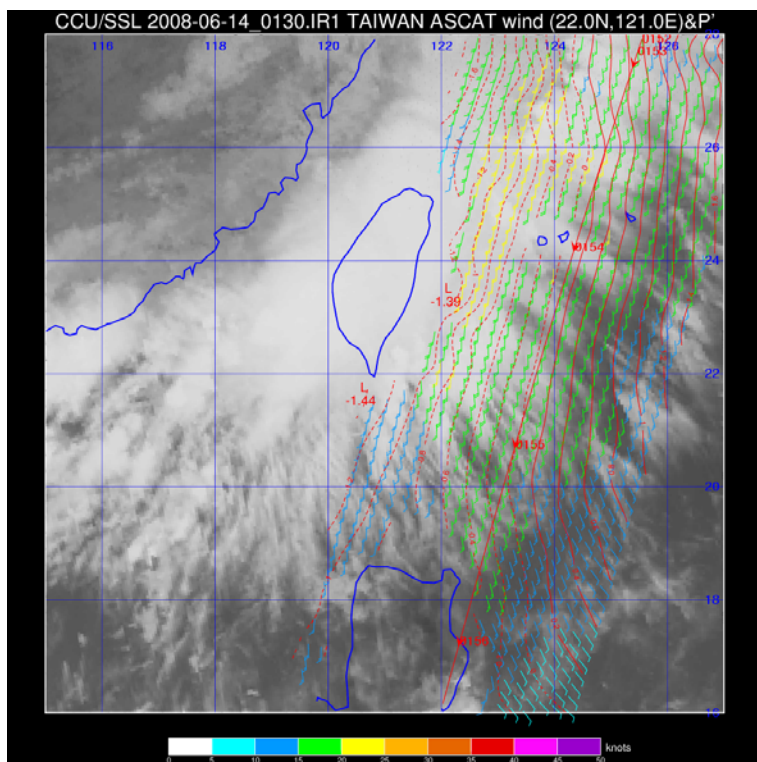


圖 44 2008 年 6 月 14 日 0130 UTC 的 ASCAT 海面風場。

6.3 2008 年 6 月 18 日：弱回波線

此個案為弱對流個案，弱回波線約在 6 月 18 日 1830 UTC 左右開始出現，經過 30 分鐘後，有一系列對流胞開始在此弱回波線上發展起來，到了 1930 UTC 達最強，最強時甚至可達到 35 dBZ，但這些對流胞僅持續約半小時旋即消散，且發生於海面上，故無地面測站可用來描述弱回波線通過測站前後之變化。分析地面觀測資料後（圖 45, 46）發現，除了小琉球站受到影響外，其餘各站之氣象參數皆無明顯變化，小琉球在 6 月 18 日 1900 UTC 溫度及風速有些許變化，此時正好是強對流開始發展的時間，然而，現有資料之時間解析度為 1 小時，無法完全解析此系統，更無法明顯表現出各氣象參數之細微變化。常規探空（圖 47a）僅能描述系統來臨前 6 小時之大氣環境，低層大氣較穩定，而加密探空（圖 47b）則顯示系統發生時低層以有穩定層建立起來，且大氣環境持續維持穩定狀態。

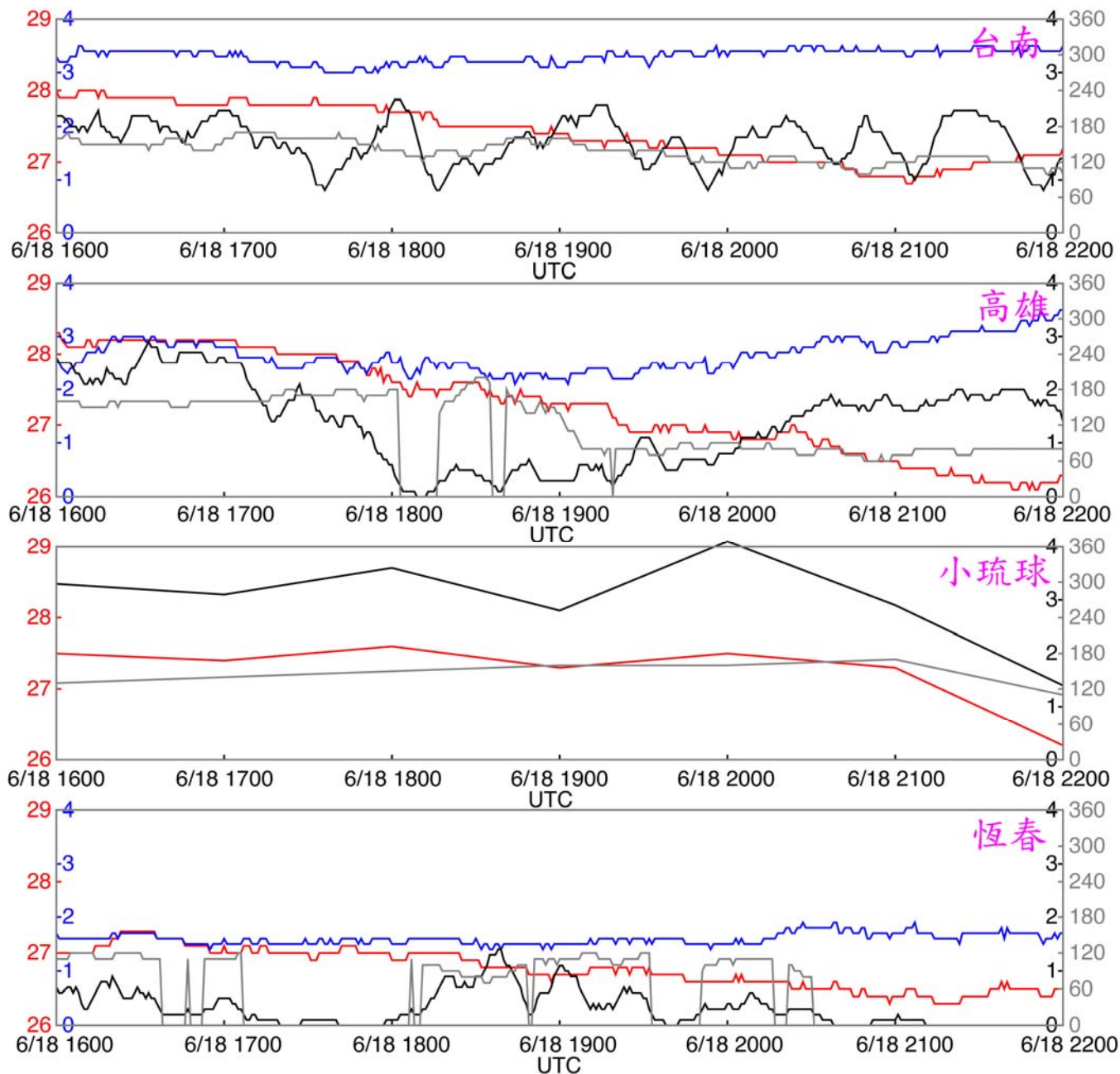


圖 45 2008 年 6 月 18 日台南站 (46741)、高雄站 (46744)、小琉球自動氣象站 (C0R27) 及恆春站 (46759) 之 6 小時時間序列。個案之雷達資料分析時間大約是時間序列之中間時間，紅色線為溫度，藍色線為溫度露點差，黑色線為風速，灰色線為風向。

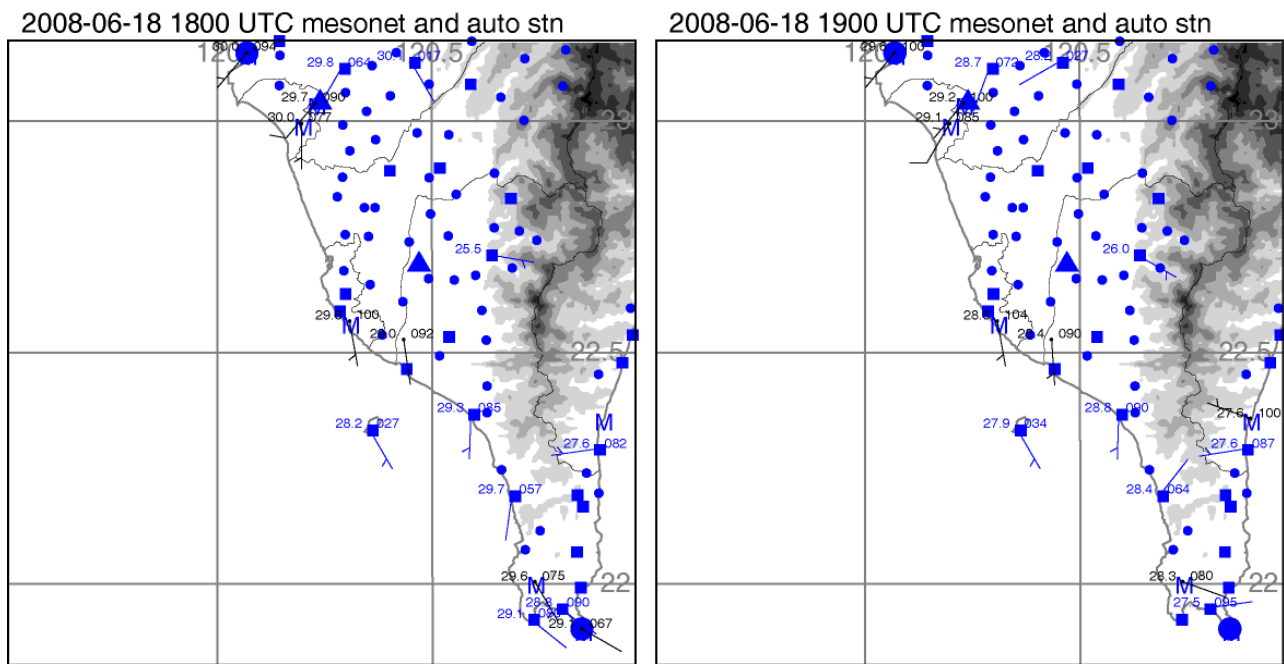


圖 46 2008 年 6 月 18 日(a) 1800 UTC 與(b) 1900 UTC 之地面觀測資料。

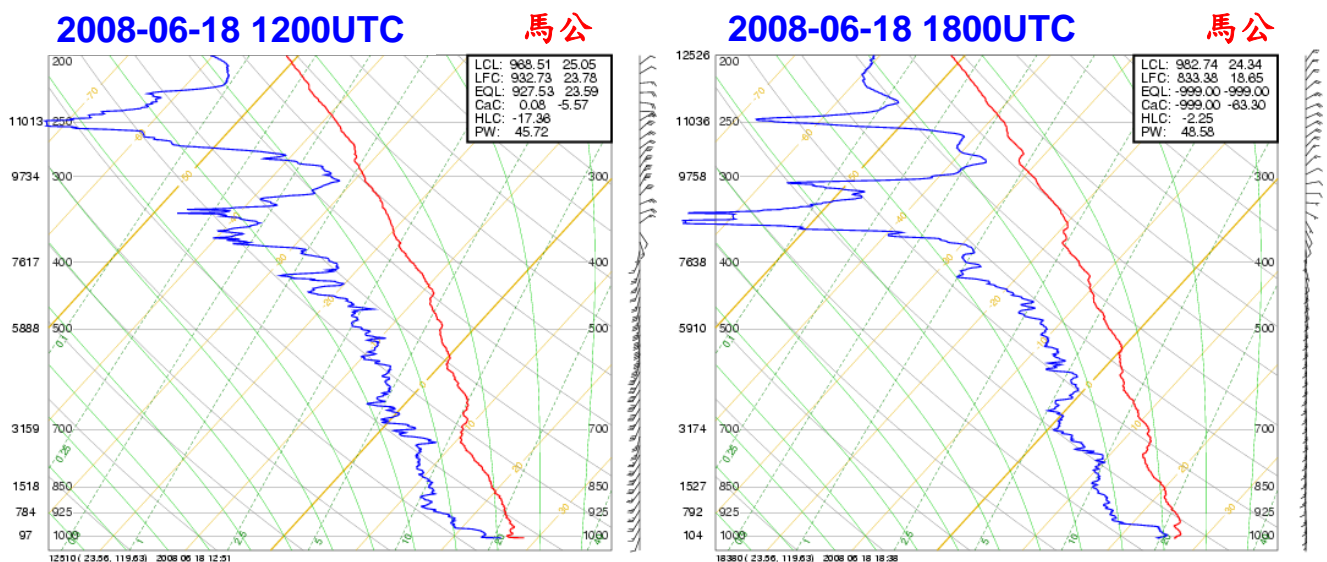


圖 47 2008 年 6 月 18 日(a) 1200 UTC (b) 1800UTC 馬公探空站之斜溫圖。

圖 48 為不同雷達在個案發生時間下之回波觀測情形，弱回波線剛生成時（1830 UTC，圖 48a），只有 S-POL 可以清楚地識別出來，七股與墾丁雷達則無法觀測到此系統，但 30 分鐘後（1900 UTC，圖 48b），七股及墾丁雷達已可見到強回波沿著弱回波線發展起來，但這對於預報時效來說稍嫌過慢，幸好這些對流胞沒有移進台灣陸地。

因為弱回波線多發生於台灣西南部外海約 70~200 公里處，所以我們僅使用七股、墾丁與 S-POL 雷達進行雙都卜勒雷達合成配對（圖 49-51）。首先，針對局屬現有雷達（七股與墾丁）進行合成，因為兩顆雷達皆無法偵測出弱回波線之存在，因此，完全無法得到三維風場，另外，兩顆雷達距離太遠（約 160 公里）則讓高屏地區幾乎皆位於雙都卜勒雷達之基線（Baseline）上，以致於無法提供合成風場。若是使用 S-POL 與墾丁雷達進行合成，則在高度 2 公里以上有些許風向量可供分析，因

此，接下來我們僅討論 S-POL 與墾丁雷達站之合成結果。當弱回波線剛生成時 (1830 UTC, 圖 49), 弱回波線已可於 S-POL 之雷達回波圖上被清楚標示出來, 但墾丁雷達站僅能看到弱回波線左側之對流胞, 因此, 也使得在弱回波線上無任何合成風場可供分析使用; 較強的對流胞在 30 分鐘後 (圖 50) 慢慢發展起來, 這些對流胞已經可以被墾丁雷達偵測到, 但是弱回波線之邊界仍無法定義, 從 S-POL 明顯發現這些對流胞是沿著此弱回波線由北往南逐漸發展起來; 到了 1930 UTC (圖 51), 小對流胞之個數達到 5 個, 另外, 於弱回波線北側及南緣也分別有一單獨之對流胞生成, 此時, 此區域內為偏東南風, 對流胞上之風場分量亦顯示在 2 公里以上有微弱之東南風。由雷達分析顯示, 弱回波線與小尺度對流系統之發展與否有一定程度之關係, 但局屬現有雷達較難偵測到這些弱回波線, 因此, 若是可於 S-POL 原址上增設一雷達, 建議採用敏感度較高之雷達, 這不僅可為台灣西南部沿海提供更真實之三維風場資訊, 更將有助於增進台灣西南部區域之即時預報。

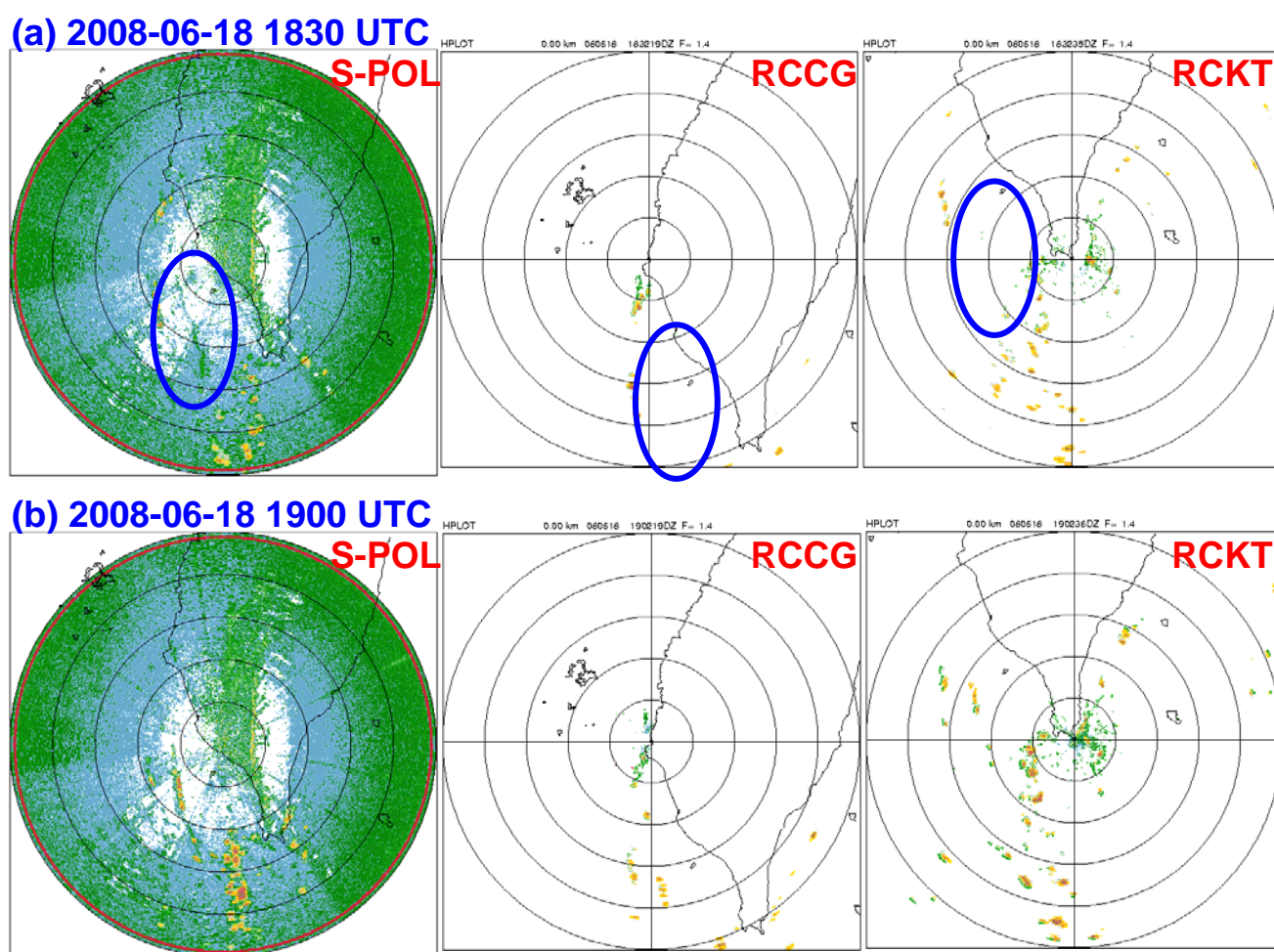


圖 48 2008 年 6 月 18 日於(a) 1830 UTC、(b) 1900 UTC 時之雷達回波圖, 左圖為 S-POL, 中圖為七股雷達, 右圖則為墾丁雷達。

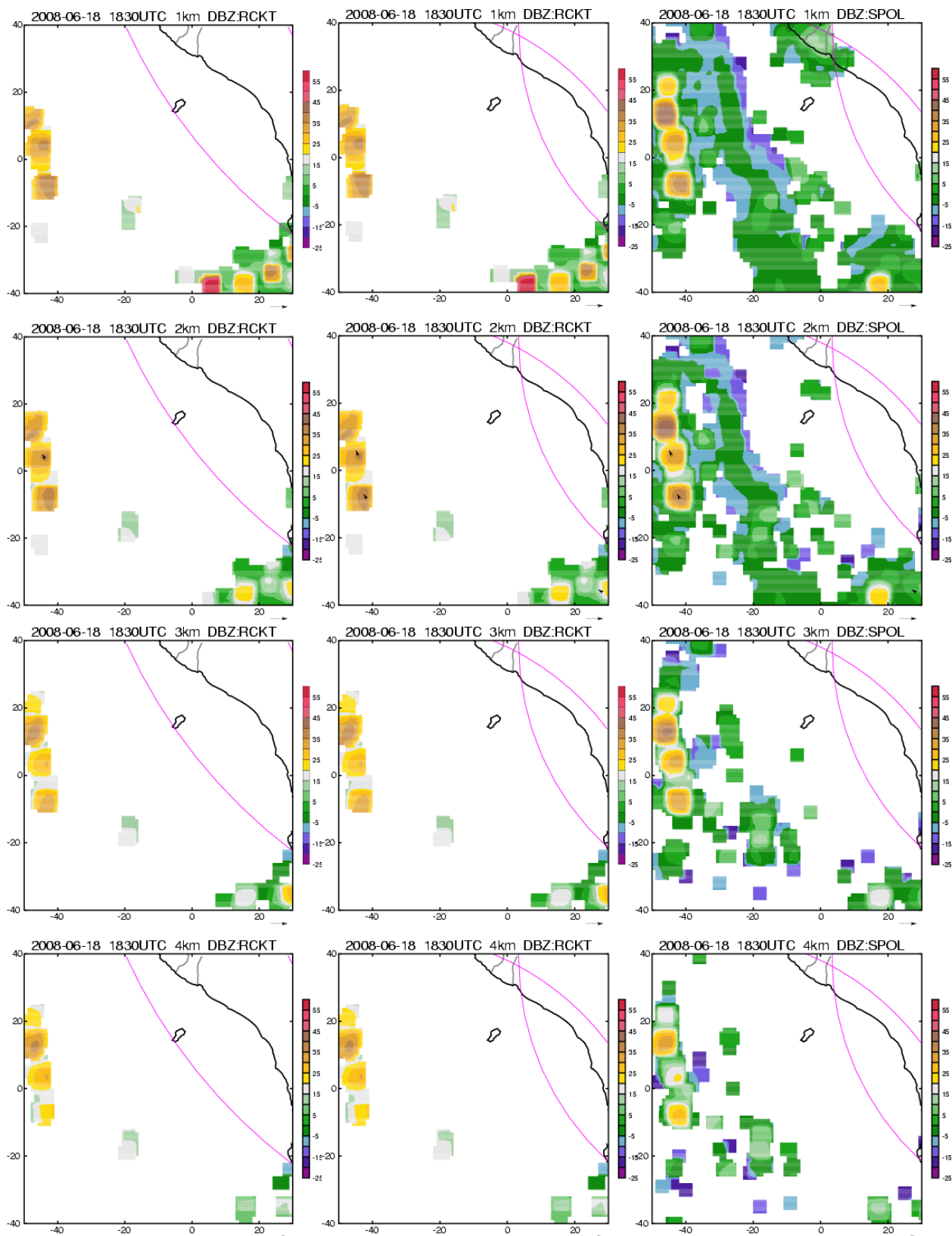


圖 49 2008 年 6 月 18 日 1830 UTC 之多都卜勒雷達風場合成。第一行為高度 1 公里，第二行為 2 公里，第三行為 3 公里，第四行為 4 公里。左列為七股與墾丁雙都卜勒雷達風場合成，色階為墾丁雷達站之雷達回波；中間與右列為墾丁及 S-POL 之雙都卜勒雷達風場合成，色階分別為墾丁（中）及 S-POL 之雷達回波。藍色實線為垂直速度場。

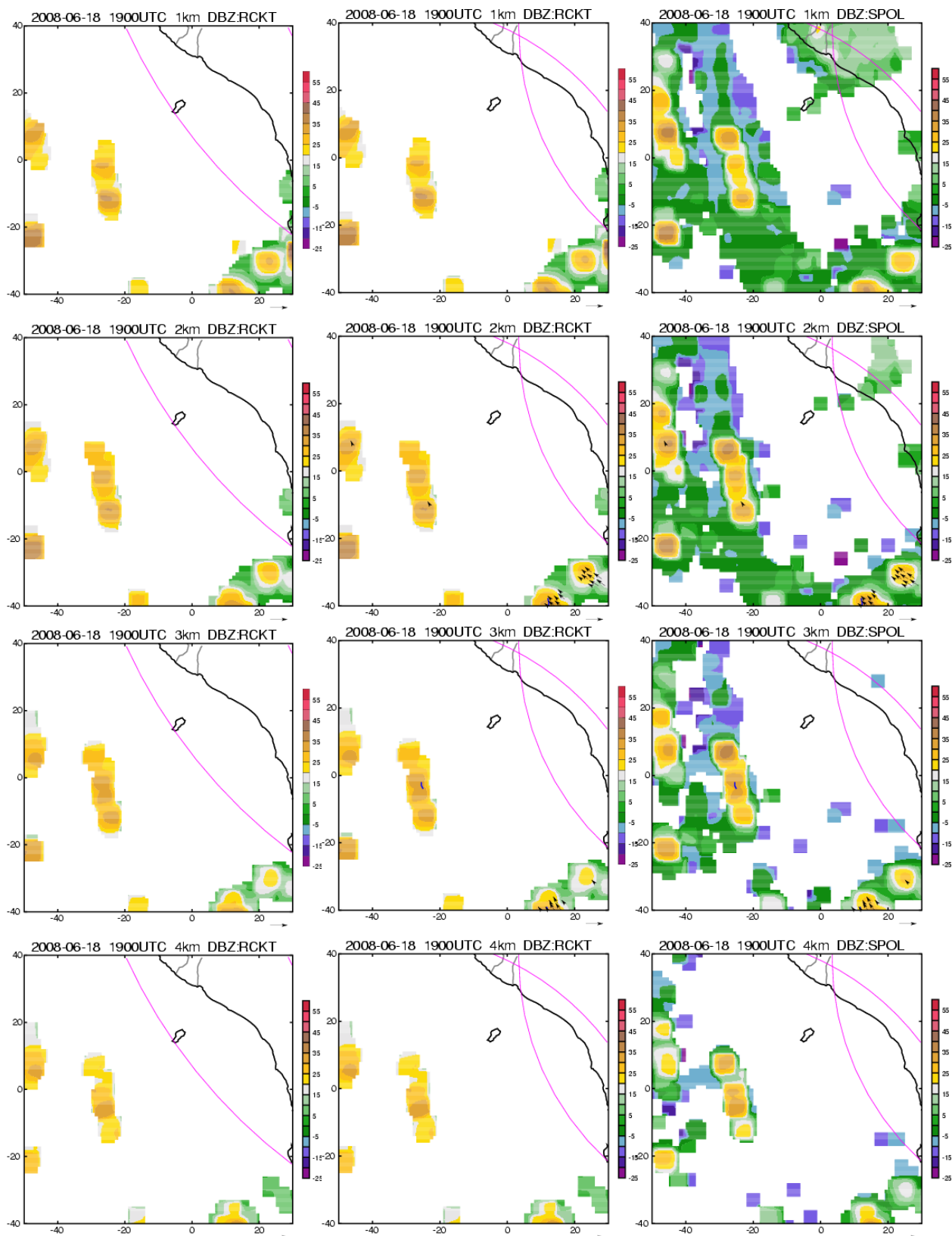


圖 50 2008 年 6 月 18 日 1900 UTC 之多都卜勒雷達風場合成。第一行為高度 1 公里，第二行為 2 公里，第三行為 3 公里，第四行為 4 公里。左列為七股與墾丁雙都卜勒雷達風場合成，色階為墾丁雷達站之雷達回波；中間與右列為墾丁及 S-POL 之雙都卜勒雷達風場合成，色階分別為墾丁（中）及 S-POL 之雷達回波。藍色實線為垂直速度場。

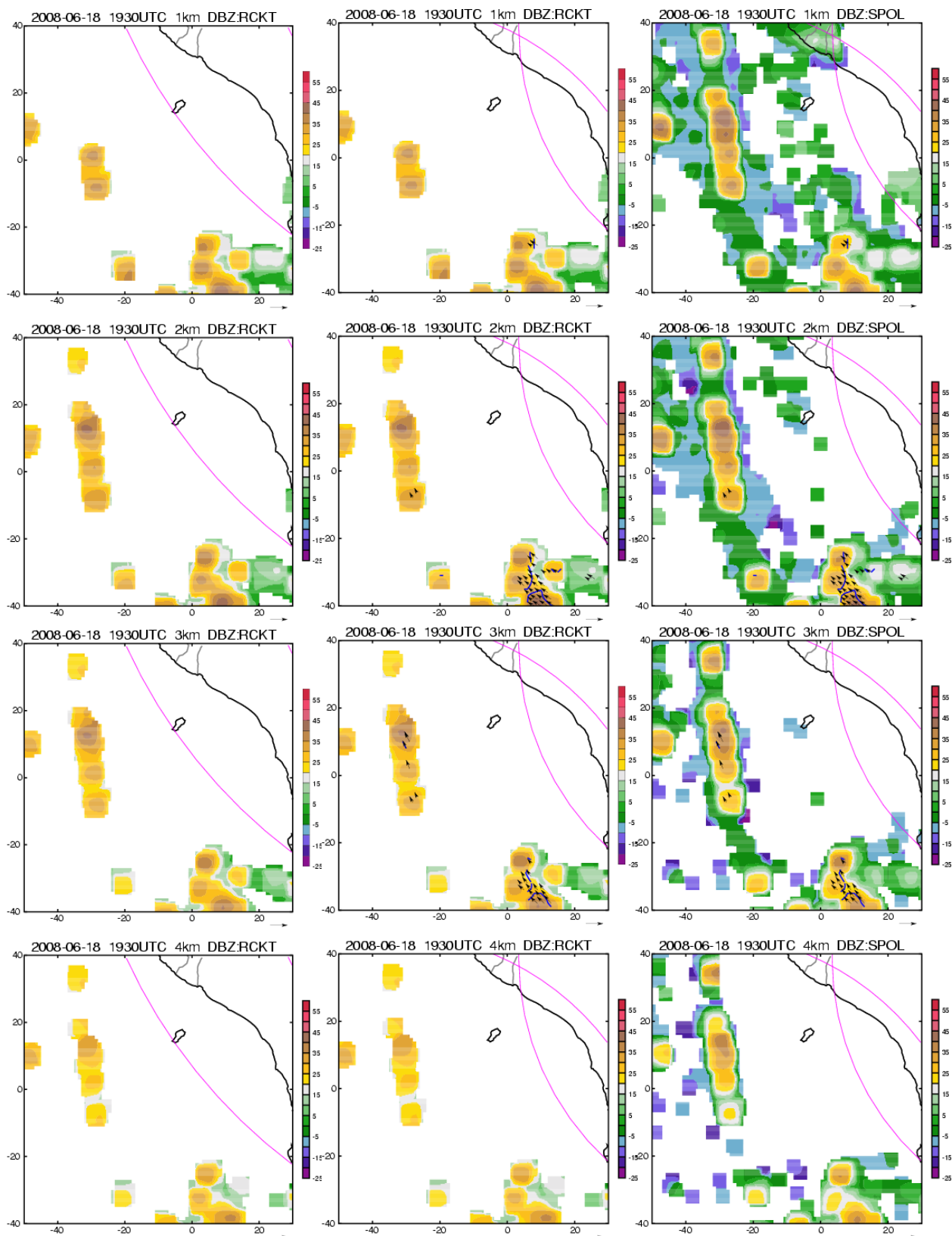


圖 51 2008 年 6 月 18 日 1930 UTC 之多都卜勒雷達風場合成。第一行為高度 1 公里，第二行為 2 公里，第三行為 3 公里，第四行為 4 公里。左列為七股與墾丁雙都卜勒雷達風場合成，色階為墾丁雷達站之雷達回波；中間與右列為墾丁及 S-POL 之雙都卜勒雷達風場合成，色階分別為墾丁（中）及 S-POL 之雷達回波。藍色實線為垂直速度場。

7. 結論與建議

本研究探討中尺度觀測資料於天氣監測與預報之應用，首先探討中尺度地面觀測資料之檢定，利用極值及滑動平均之檢定，我們發現對於資料的品質有很大的改進，雖然只檢測 2008 年實驗期間的觀測資料，但是對於非實驗期間的觀測資料，預期仍須加以檢定以確保資料的準確性，以利天氣系統的監測及預報。在 SoWMEX 期間有部份資料是較屬於研究型的資料如降雨雷達(MRR)、雨滴譜儀等，需經過一段時間的研究之後，方能有效的提供預報之用，但是 S-POL 雷達及部份探空資料是可以即時提供中尺度天氣系統之監測與預報之用，加密探空在對的時間及地點是有助於對大氣環境的掌控，例如 6 月 13 日及 14 日，台南的加密探空能夠有效地掌握大氣溼度場及風場的變化。而 S-POL 雷達的掃描彌補了七股及墾丁雷達的不足，並且能對高屏溪河谷的降雨有莫大的幫助，最值得一提的是 S-POL 雷達高敏感度的回波能有效地掌握弱回波的存在(如 6 月 18 日的個案)。弱回波的存在顯示大氣邊界層弱對流界面的存在，這邊往往是對流系統的發源地，這個訊息對於雷雨的預報非常重要，也是目前常規作業資料及作業雷達所無法提供的，另外除了常規觀測及實驗資料之外，我們也介紹 ASCAT 海面風場的特性及其所能提供的資訊，在海面上觀測資料缺乏的地方，能有額外的觀測及反演資料(如擾動氣壓、渦度場、輻散場等)都是對天氣系統的監測相當有幫助的。

根據本計畫執行成果，提出之建議如下：

- a. 本研究所選用的資料取自於本局 WINS 系統之原始資料，經過本局二組的說明，呈現於網頁上或是對外提供之資料是已經過最大、最小值檢定及資料連續性檢定，但 WINS 即時資料是尚未經過檢定的。本研究僅針對 2008 年 5, 6 月的資料作檢定，若能在資料進入 WINS 之前就先進行檢定，並應用在其他月份上，那麼，對於預報員之使用將有很大之幫助，本研究所用的方法可用以彌補本局尚未檢定之 WINS 地面觀測資料。
- b. 本研究分析本局 2008 年 5, 6 月 mesonet 及自動氣象站之資料，其中，mesonet 部份包含本局局屬站與其他合作站，局屬站之資料代表性毋庸置疑，但合作站部分宜針對站點進一步了解資料的代表性。自動站之週遭環境較難掌控，因此建議對部分站點之環境作適當的了解，讓預報員可知道資料的代表性。
- c. 建議未來若在高屏溪河口建置新的雷達，希望該雷達能有如 S-POL 一樣的高敏感度，以對台灣西南部區域的弱若回波系統或是界面能有更完整之監測。
- d. 若能建立機動式的地面觀測及探空系統，便能隨時在強系統到來前機動施放探空，或是對易生成午後雷陣雨的區域加強探空，如此一來，將有利監測與預報，作業方式可以比照目前的投落送(dropsonde)委外方式來進行。
- e. 開發其他資料來源，如 ASCAT 風場，以應用於天氣系統之監測。

8. 未來可進行之工作

國內外觀測經驗皆指出雷達波束被山區地形遮蔽，是造成在峽谷區之降雨量被低估的重要因素，圖 52 為七股雷達站之觀測情形，於山區河谷地區僅能觀測到 2 公里以上之剖面，但對於地形複雜的台灣來說，從近地面至 2 公里處之剖面可能會有相當大之差異，因此，在定量降水估計及局部天氣系統之監測上會有很大的困難。Berne et al. (2005) 提出一復原反射剖面因複雜的地形所導致雷達光束遮蔽的方法：在溪谷中增設一 X 波段垂直觀測雷達。當雷達波束因受在被地形遮蔽而有

低層減弱的情形(圖 52 右側虛線),在增加垂直指向雷達之後可助於的雷達回波修正與重建(實線)。因為回波垂直結構差異將直接反應於降水強弱上,因此,SoWMEX 2010 之主要課題即為重建台灣中南部山區之低層回波垂直剖面,以期能獲得更準確之定量降水估計以及局部發展之天氣系統,而持續對西南氣流實驗期間所獲得之珍貴資料進行深入之分析也是一個重要之課題。

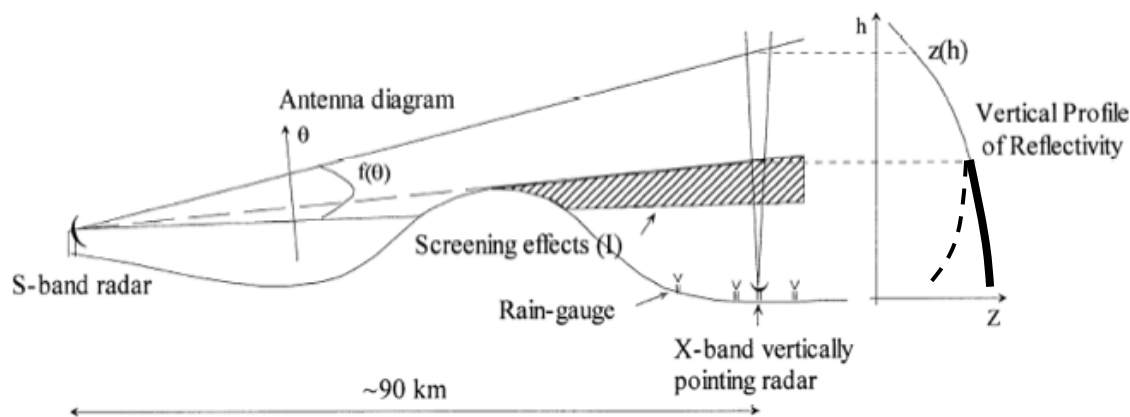


FIG. 2. Illustration of the experimental setup.

圖 52 雷達回波垂直分布。細實線為雷達實際觀測到之垂直剖面,虛線表示波束被地形遮蔽的曲線,粗實線則為增加地面觀測後進行修正之曲線。

期末報告預計完成的項目有：

- (1) 個案之作業資料分析(使用局屬現有作業資料)。
- (2) 個案之完整資料分析(使用局屬現有作業資料,再加入實驗期間額外增加之觀測資料)。

這些工作均已完成。

9. 參考文獻

- Bock, O., M.-N. Bouin, A. Walpersdorf, J. P. Lafore, S. Janicot, F. Guichard, and A. Agusti-Panareda, 2007: Comparison of ground-based GPS precipitable water vapour to independent observations and numerical weather prediction model reanalyses over Africa. *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, doi: 10.1002/qj.185.
- Berne A, Delrieu G, Andrieu H (2005) Estimating the vertical structure of intense Mediterranean precipitation using two X-band weather radar systems. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **22**, 1656–1675
- Cady-Pereira, K. E., M. W. Shepherd, D. D. Turner, E. J. Mlayer, S. A. Clough, T. J. Wagner, 2008: Improved daytime column-integrated precipitable water vapor from Vaisala radiosonde humidity sensors. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **25**, 873-883.
- Ciesielski, P. E., W.-M. Chang, S.-C. Huang, R. H. Johnson, B. J.-D. Jou, W.-C. Lee, P.-H. Lin, C.-H. Liu and J. Wang, 2010: Quality-controlled upper-air sounding dataset for TiMREX/SoWMEX: Development and Corrections. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **27**, No. 11, 1802-1821.
- Ciesielski, P. E., R. H. Johnson, and J. Wang, 2009: Correction of humidity biases in Vaisala RS80-H

- sondes during NAME. To appear in *J. Atmos. Oceanic Technol.*
- Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367–374.
- Gal-Chen, T., 1978: A method for the initialiUTCation of the anelastic equations: Implications for matching models with observations. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 587–606.
- Hane, C. E., and B. C. Scott, 1978: Temperature and pressure perturbations within convective clouds derived from detailed air motion information: Preliminary testing. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1301–1320.
- Hane, C. E., and P. S. Ray, 1985: Pressure and buoyancy fields derived from Doppler radar data in a tornadic thunderstorm. *J. Atmos. Sci.*, **42**, 18–35.
- Liu, C.-H., R. M. Wakimoto, and F. Roux, 1997: Observations of mesoscale circulations within extratropical cyclones over the North Atlantic Ocean during ERICA. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 341–364.
- Loehrer, S. M., T. A. Edmands, and J. A. Moore, 1996: TOGA COARE upper-air sounding data archive: development and quality control procedures. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 2651–2671.
- Nuret, M. J.-P Lafore, O. Bock, F. Guichard, A. Augusti-Panareda, J.-B. N’Gamini, and J.-L. Redelsperger, 2008: Correction of humidity bias for Vaisala RS80-A sondes during AMMA 2006 observing period. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **25**, 2152–2158.
- Stull, R. B., 1988: *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 666 pp.
- WentUTC, F. J., 1997: A well calibrated ocean algorithm for special sensor microwave imager, *Journal of Geophysical Research*, **102**, 8703–8718.
- Vömel, H., H. Selkirk, L. Miloshevich, J. Valverde-Canossa, J. Valdés, E. Kyrö, R. Kivi, W. StolUTC, G. Peng, and J. A. DiaUTC, 2007: Radiation dry bias of the Vaisala RS92 humidity sensor. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **24**, 953–963.
- Yoneyama, K., M. Fujita, N. Sato, M. Fujiwara, Y. Inai, and F. Hasebe, 2008: Correction for radiation dry bias found in RS92 radiosonde data during the MISMO field experiment. *SOLA*, **4**, doi: 10.2151/sola.2008-04.
- 98 年度氣象局「探空及遙測資料校正技術在中尺度天氣系統分析與預報技術之應用」計畫（計畫編號：MOTC-CWB-98-2M-06）。