

北台灣即時雙都卜勒雷達合成風場系統之建立與測試

鄧仁星

中央氣象局 科技中心

摘要

本文主要介紹利用五分山及中正機場雷達之即時資料，所建立之一套即時化的雙都卜勒合成風場系統。並利用今（2002）年五、六月梅雨季期間之結果測試此套系統之可行性。

由結果顯示，本套系統已能利用雙都卜勒風場合成方法，對梅雨季的降水系統內部之三維風場結構即時處理，在 2 分鐘內可在網頁上看到前半小時中正機場雷達開始觀測之雷達資料，與相對應時間五分山雷達之觀測資料所做出的即時三維風場。

而經由本系統對 2002 年梅雨季期間之降水系統之三維風場與回波之結構的圖形顯示，我們發現不管是鋒面亦或午後對流，其風場結構甚或是降水系統的行為，可說是非常複雜的，目前本套系統之網頁式即時圖形顯示已於 2002 年 8 月 15 日起正式啟動（安內網址為 172.16.9.2/~teng），希望有興趣的人多加利用。

一、前言

台灣是一個多山的海島，五大山脈（雲山山脈、中央山脈、玉山山脈、阿里山山脈及海岸山脈）縱貫全島，地勢高於 3000 公尺的高山有 100 座以上，最高峰玉山高度幾近 4000 公尺（如圖 1.1）。在如此複雜而陡峭的地形下，由於地形的動力及熱力的作用，不僅有許多的降水系統在山區附近發生，更使絕大多數經過或接近台灣的天氣系統受到此地形的影響。加上台灣地處全世界最大的季風帶及颱風帶內，種種得天獨厚的自然條件下，成為全世界最佳的氣象實驗區。

在二十一世紀初，台灣於眾單位（氣象局、民航局、空軍、水利局）的通力合作之下，建置完成環台的都卜勒雷達觀測網（如圖 1.1），此雷達觀測網將涵蓋整個臺灣本島及其附近海域，提供台灣地區降水系統的時空高解析度即時監測。

由於都卜勒雷達的觀測項目僅有雷達回波場及徑向速度場，如何由此兩雷達觀測之因子，得到一般的氣象因子（諸如三維風向量、壓力、溫度及水汽場等），一直是雷達氣象學者研究的主題之一。歷經五十餘年的研究發展，雷達氣象學者提出了很多的解決方法。對於切向風的求得，大致可分為三大類，其中最為普遍的是利用另外一組同時觀測但不同觀測角度的都卜勒雷達資料（雙都卜勒），經由兩雷達觀測的幾何關係及連續方程式而得。僅利用另一接收雷達進行所謂的雙靜（bistatic）觀測則是此類方法的變異。第二種方法則是假設回波（或徑向速度）為一在氣流內之追蹤者，由此去決定流場之大小及方向。此類方法又可分為利用統計技術（如 TREC; Tuttle and

Foote 1990）及利用回波保守方程所演生的技術（Qin and Xu 1992; Gal-Chen and Zhang 1993; Xu et al. 1993）。第三種方法為取單都卜勒雷達之連續觀測所得（徑向速度及/或回波強度），利用一可信之數值天氣模式與之配合所演生之方法（四維資料同化）。

在第一類方法中，雖然會因觀測點與兩雷達間之角度大小限制而有所謂的雙都卜勒合成範圍（一般以夾角介於 30 度至 150 度間之誤差較小），但由於此方法較為合理且直接，使得以往有很多研究利用此方法所寫的雷達處理軟體去探討一些降水系統的內部運動結構，例如 Lin et. al (1990) 經由聖路易大學（SLU）的雷達處理軟體去探討 1987 年 TAMEX 期間一颶線系統，及目前最為普遍的美國國家氣象研究中心（NCAR）發展的 CEDRIC（Custom Editing and Display Information in Cartesian Space, Mohr and Miller, 1983）軟體。然而這些軟體在做雙都卜勒風場合成時，均是建立在卡氏座標下，利用連續方程做垂直積分求取垂直速度時，並假設下邊界的垂直速度為零。這個假設在地形複雜區（如台灣島內）顯然會有很大的差錯，如果利用這些軟體處理雷達資料而探討複雜地形區內之降水系統時，就需特別的小心。Teng and Chen (1994) 提出利用追隨地勢座標下的雙都卜勒合成方法，可有效減小以往的雷達軟體在複雜地形區下邊界垂直速度的誤差，使所得之三維風場較為合理。Teng et al. (2000) 並利用此方法成功的探討 TAMEX IOP#2 之一颶線個案進入台灣本島後之內部結構變化。

對於雙都卜勒雷達合成風場技術之研究已趨成

熟，如何將其成果實際應用於日常的天氣預報作業中則是本篇之主要目的。目前有實際作業且資料能即時傳輸至氣象局的雷達，僅有氣象局局屬的五分山、花蓮、墾丁、七股雷達及民航局之中正機場雷達，在這四個雷達中因五分山及中正機場雷達相距約僅 60 公里，非常符合雙都卜勒風場合成所須之要求，其他則因距離太遠較不適合。因此利用五分山及中正機場雷達之即時資料，建立一套即時化的雙都卜勒合成風場系統。本篇即在介紹此系統之建立及其在今（2002）年五、六月梅雨季期間之結果，測試此套系統之可行性並提供系統修改之方向問題。第二節主要介紹此系統建立之方法概述及過程。第三節則利用今年梅雨季期間之資料所做之測試結果討論。最後結論寫於第四節。

二、系統建立之方法及過程

首先介紹五分山及中正機場雷達資料的一些特性，五分山雷達資料約六分鐘有一體積掃描（volume scan），每一體積掃描的第一及第三個等仰角掃描（ppi scan）為回波長距離（460 公里）掃描，僅記錄回波值。第二及第四個等仰角掃描僅記錄徑向速度值，觀測範圍達 230 公里。其餘之等仰角掃描均記錄有回波及徑向速度值，其觀測之範圍隨仰角之不同而有所差異。每一層之徑向速度可解析最大範圍（Nyquist velocity；簡稱為 V_n ）亦隨仰角之不同而有差異。

中正機場雷達每半點正開始做一次體積掃描，掃描時間約十分鐘，掃描範圍為 120 公里，徑向速度可解析最大範圍（ V_n ）為每秒 47.6 公尺。

在做風場合成之前需對兩個雷達的資料個別做一些處理，這些處理主要包含地形回波之去除、徑向速度之折疊校正、資料的內插及補洞與平滑。地形回波的產生是因為雷達主波束及/或副波束（side lobe）碰到地形而反射回來的強訊號，通常有徑向速度接近零、回波強度強、波譜寬較小、位置較為固定等等特性。一般的都卜勒雷達在觀測時，通常會用一些利用上述的特性所衍生的判別方式稍為濾掉一些地形回波資料，故在此套系統中僅就利用主波束與地形的關係做判別，當掃描線上某點低於該處的地形高度時，則假設此點的資料受到地形的污染並將其去除，另外在此點後之資料因處於山後較不可信，而將其一併去除。

在處理都卜勒雷達徑向速度場資料時，因為不知道其是否有折錯的資料，故通常需要一參考值與觀測值做比較方可，由於五分山雷達之最大可解析速度在不同仰角會不同，使得在折疊校正上必須在雷達自然座標（球座標）下執行，初期因僅考慮非颱風情況，速

度折疊的情況較少，故僅利用兩種簡單的參考值選定方法處理，一為利用周圍某一範圍內之平均值為參考值，另一為同一條波束之前一點之值為參考值。

內插部分則是利用雙線性內插法，將空間網格點之最接近的兩方位角及兩仰角掃描線上的八個點資料，做距離權重的內插。垂直座標因考慮台灣本島多山地形而選用追隨地勢座標，定義為
$$\eta = \frac{z_i(z - z_g)}{z_i - z_g}$$
，範圍為 0 ~ 15 km，間距為 0.75 km。

水平範圍在 2002 年 4 月 30 日開始建立至 7 月 23 日前，選擇圖 2 中之南北兩個各 60 km X 60 km 的範圍（簡稱 S 及 N 範圍），在其後因考量圖形顯示及看圖之方便性，在執行時間允許下，選擇圖 2 的整個範圍（120 km X 140 km）（簡稱 T 範圍），其水平網格距皆為 1 km。將兩個雷達的資料內插至此範圍後，再利用簡單的補洞及平滑方法，避免有太多的不規則邊界及太凌亂的梯度，造成雙都卜勒風場合成計算時之不必要的誤差。

當兩個雷達的資料分別處理後，利用 Teng et al. (2000) 的追隨地勢座標下雙都卜勒風場合成方法求取範圍內之三維風場。

在自動化作業方面，目前是利用一台外掛 300G 磁碟陣列的個人電腦（teng）來執行，其電腦作業系統為 linux，五分山之資料是利用 ftp 自雷達資料區取得、而中正雷達資料則是由雷達組自動傳至 teng 電腦內。本系統之自動化程序分為兩種，第一種設定在每小時的 20、50 分執行，執行動作包括五分山資料的取得、取得之資料的單都卜勒處理過程。第二種設定在每小時的 00、30 分執行，執行動作包括中正雷達資料的單都卜勒處理、雙都卜勒風場的合成、繪圖及網頁之更新、五分山資料的取得、五分山資料的單都卜勒處理過程。第二種程序中從開始到網頁更新，可在 2 分鐘之內結束。也就是說在 2 分鐘後可在網頁上看到前半小時中正機場雷達開始觀測之雷達資料，與相對應時間五分山雷達之觀測資料所做出的即時三維風場。

三、測試結果討論

在此部分選出 2002 年 5、6 月期間的 4 個個案來探討本系統之結果，此 4 個個案分別為 5 月 17 日及 6 月 11 日的鋒面個案、5 月 28 日及 6 月 27 日的午後對流個案。在 5 月 17 日 08 LST，低氣壓 1006 百帕（圖 3），其中心位於日本南方海面，緩慢向東移動，鋒面由此中心向西南延伸，經台灣恆春半島，至海南島。圖 4 為當日 01:35 LST S 範圍內本系統輸出之水平風場與回波強度（追隨地勢座標高度為 1.5 km），由圖中之水平風場可看出一明顯東北、西南走向的風

切帶存在，其北以北風為主，其南則以南風為主，在風切帶上有兩個明顯的渦旋，分別位於座標(50, -10)及(28, -23)，顯示其風切帶有波狀形態。圖 5 為 3.5 小時後之情況，整個 S 範圍內均以西南風為主。

在 5 月 28 日 08 LST，低氣壓 1004 百帕(圖 6)，在中西沙島海面，向北北東緩慢移動。圖 7 為當日 1604 LST S 範圍內本系統輸出之水平風場與回波強度(追隨地勢座標高度為 1.5 km)，在此時於雪山山脈西北側山坡上有一淺對流胞產生，在其整個生命期內，其發展高度最大僅達 6 km 高左右，由水平風場中可見明顯的輻合帶於山坡上。1.5 小時之後(圖 8)，對流系統已近其生命末期，水平風場以南風至東風為主，在較強回波區之風速明顯較其它地區為強。

在 6 月 11 日 08 LST，鋒面系統以東北、西南走向通過臺灣北部海面(圖 9)，台灣本島位於鋒前暖區。圖 10 為當日 1534 LST S 範圍內本系統輸出之水平風場與回波強度(追隨地勢座標高度為 1.5 km)，在此時於雪山山脈西北側山坡上有一延山麓分佈的線狀對流產生，且恰位於偏西與偏南氣流之輻合區上。7 個小時之後(圖 11)，降水之範圍擴大，風場結構大致可分為三個區域，在雪山山脈西側以較強的西南風(約 35 kts)為主，東側之西南風強度較弱(約 15 kts)，而在雪山山脈北側則為強西風(約 35 kts)為主，此分佈應與地形有相當的關係。

在 6 月 27 日 08 LST，低氣壓 1002 百帕，在日本東方海面，鋒面由此中心向西南延伸至台灣東南部海面(圖 12)，另有一道滯留鋒起自浙江，向西延伸至四川省，台灣處於此兩道鋒面的缺口。圖 13 為當日 1306 LST S 範圍內本系統輸出之水平風場與回波強度(追隨地勢座標高度為 1.5 km)，由圖中可見範圍內存在著幾區的對流胞，分別位於雪山山脈西、北邊、雪山山脈東側山坡上及中央山脈北端山坡上。雪山山脈西邊的對流胞之水平風場以西風為主，北邊及東側的對流胞附近的氣流有明顯的氣旋式形式。1 小時之後(圖 14)，雪山山脈周圍的對流系統增強，氣流從四面向雪山山脈西北側之對流系統匯集，並在座標(30, -15)附近產生明顯的渦旋。再 1 小時之後(圖 15)，原來在雪山山脈西北側的對流胞明顯消散，在其周圍另外產生幾的對流胞。

四、結論

由上兩節的討論，本套系統已能利用雙都卜勒風場合成方法，對梅雨季的降水系統內部之三維風場結構即時處理，在 2 分鐘內可在網頁上看到前半小時中正機場雷達開始觀測之雷達資料，與相對應時間五分山雷達之觀測資料所做出的即時三維風場。

而經由本系統對 2002 年梅雨季期間之降水系統之

三維風場與回波之結構的圖形顯示，我們發現不管是鋒面亦或午後對流，其風場結構甚或是降水系統的行為，可說是非常複雜的，目前本套系統之網頁式即時圖形顯示已於 2002 年 8 月 15 日起正式啓動(安內網址為 172.16.9.2/~teng)，希望有興趣的人多加利用。

目前上線之即時單都卜勒徑向風場之處理，尚無考慮風速較大之情況(如颱風系統)，此部分正在努力進行中。

五、參考文獻

- Deng, Z., and C.-S. Chen, 1994: A method to obtain the kinematic structure of a squall line derived from dual-Doppler radar in a terrain-following coordinate system. *Proc. Natl. Sci. Council, Repub. China, Part A*, **18** (2), 174-185.
- Gal-Chen, T. and J. Zhang, 1993: On the optimal use of reflectivities and single Doppler radar velocities to deduce 3-D motions. *Proc. 26th int. Conf. On Radar Meteorology*, Norman, OK, Amer. Meteor. Soc., 414-416.
- Lin, Y.-J., T.C. Wang, R. W. Pasken, H. Shen, and Z.-S. Deng, 1990: Characteristics of a subtropical squall line determined from TAMEX dual-Doppler data. Part II: Dynamic and thermodynamic structure and momentum budgets. *J. Atmos. Sci.*, **47**, 2382-2399.
- Mohr, C. G. and L. J. Miller, 1983: CEDRIC – A software package for cartesian space editing, synthesis and display of radar field under interactive control. *21st conference on Radar Meteorology*, Boston, Amer. Meteor. Soc., 569-574.
- Qiu, C.-J., and Q. Xu, 1992: A simple adjoint method of wind analysis for single-Doppler data. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **9**, 588-598.
- Teng, J.-H., C.-S. Chen, T. C. Wang, and Y.-L. Chen, 2000: Orographic effects on a squall line system over Taiwan., *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1123-1138.
- Tuttle, J. D., and G. B. Foote, 1990: Determination of the boundary layer airflow from a single Doppler radar. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **7**, 218-232.
- Xu, Q., C.-J. Qiu, J.-X. Yu, H.-D. Gu, and M. Wolfson, 1993: Adjoint-method retrievals of microburst winds from TDWR data. *Proc. 26th Int. Conf. on Radar Meteor.*, Norman, OK, Amer. Meteor. Soc., 433-434.

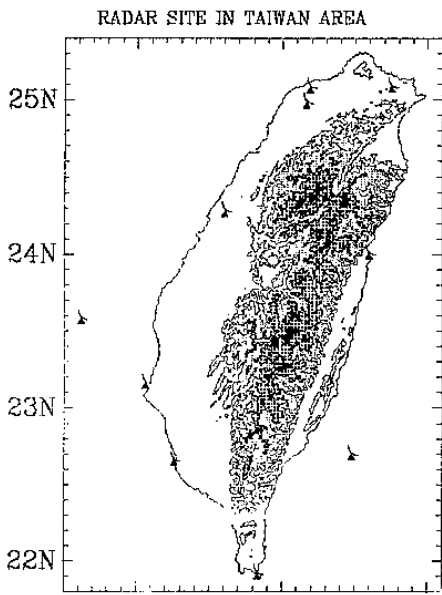


圖 1: 台灣地區地形圖及雷達位置圖

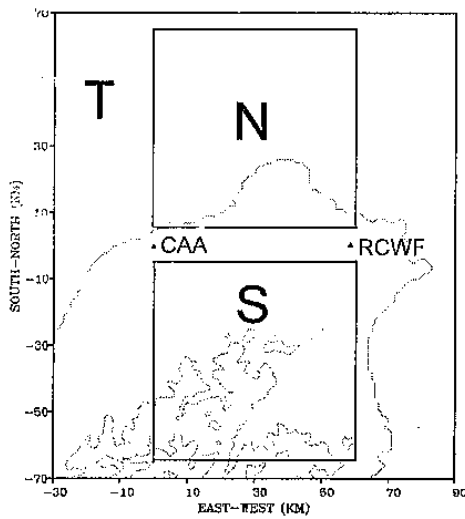


圖 2: 北台灣雙都卜勒合成風場範圍。座標原點位於中正雷達站 (CAA)。

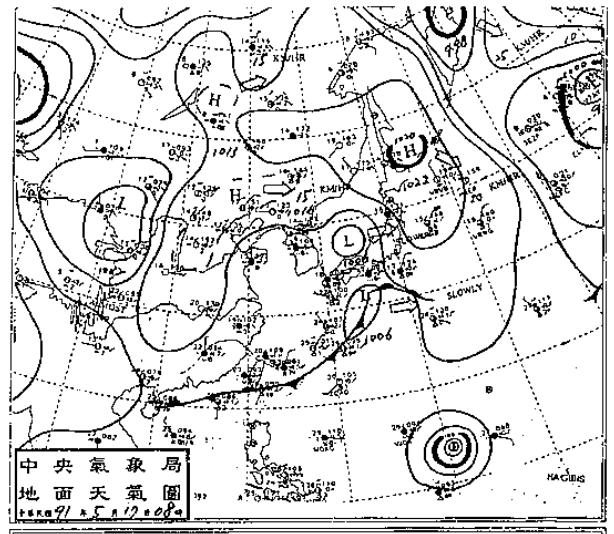


圖 3: 2002 年 5 月 17 日 0800 LST 地面天氣圖。

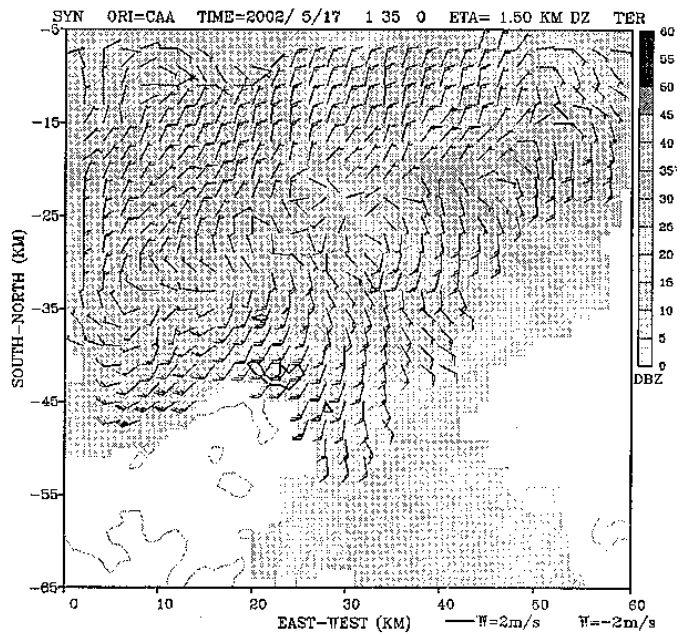


圖 4: 2002 年 5 月 17 日 0135 LST S 範圍內 $\eta = 1.5 \text{ km}$ 之水平風場及回波強度圖。

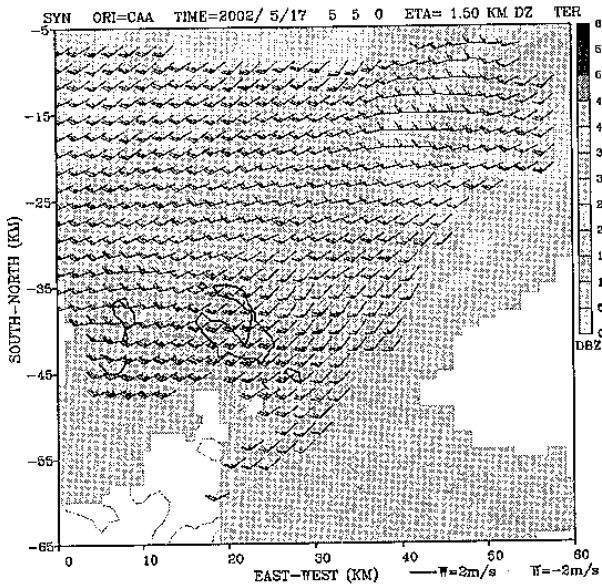


圖 5：同圖 4，但為 0505 LST。

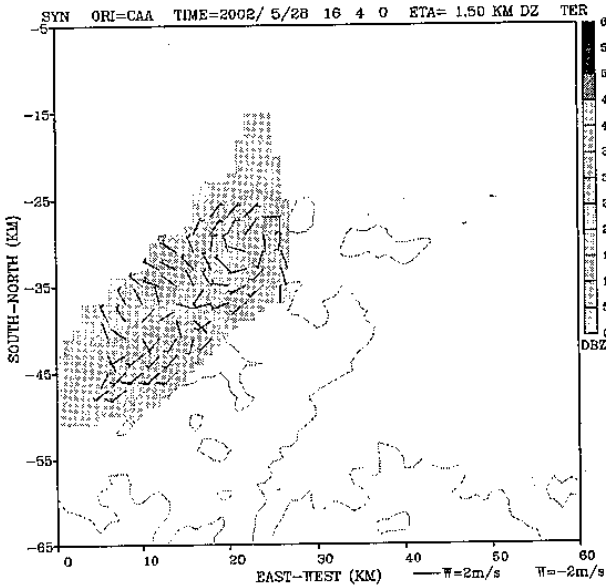


圖 7：2002 年 5 月 28 日 1604 LST S 範圍內 $\eta = 1.5 \text{ km}$ 之水平風場及回波強度圖。

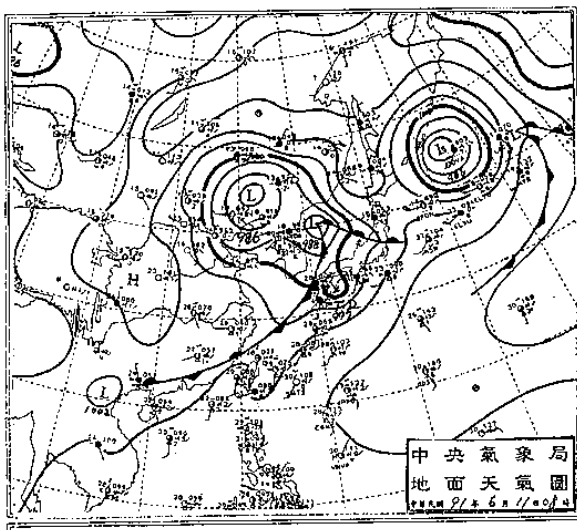


圖 9：2002 年 6 月 11 日 0800 LST 地面天氣圖。

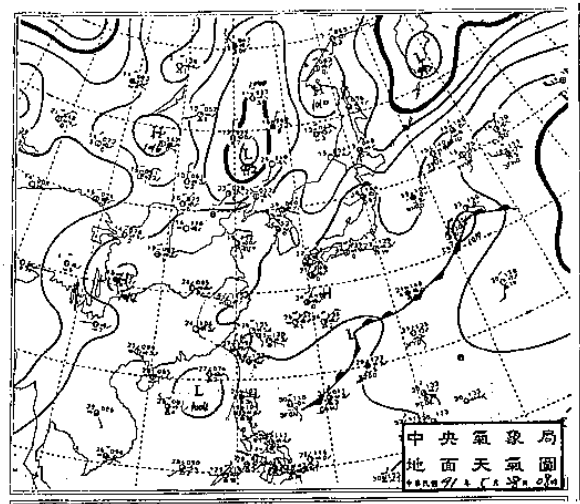


圖 6：2002 年 5 月 28 日 0800 LST 地面天氣圖。

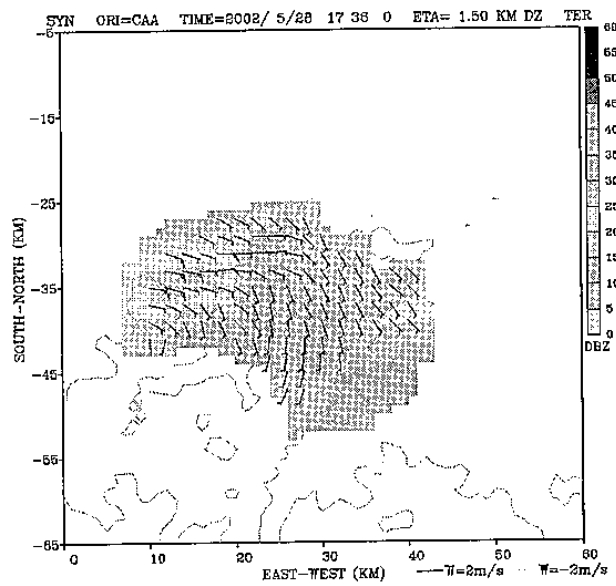


圖 8：同圖 7，但為 1736 LST。

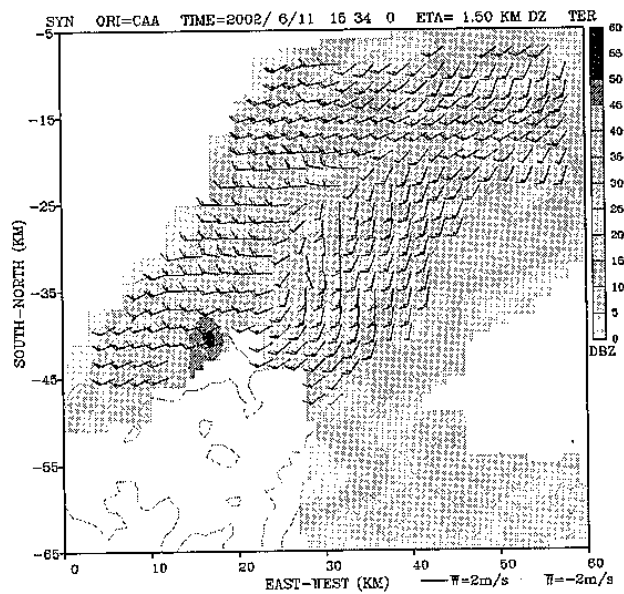


圖 10：2002 年 6 月 11 日 1534 LST S 範圍內 $\eta = 1.5 \text{ km}$ 之水平風場及回波強度圖。

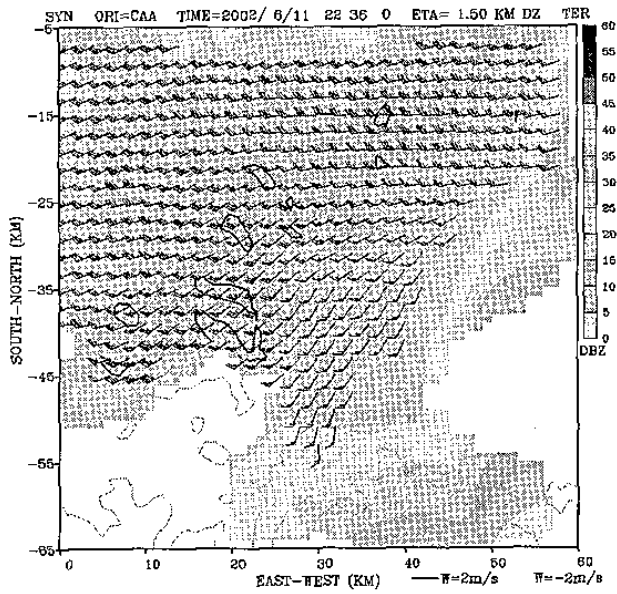


圖 11：同圖 10，但為 2236 LST。

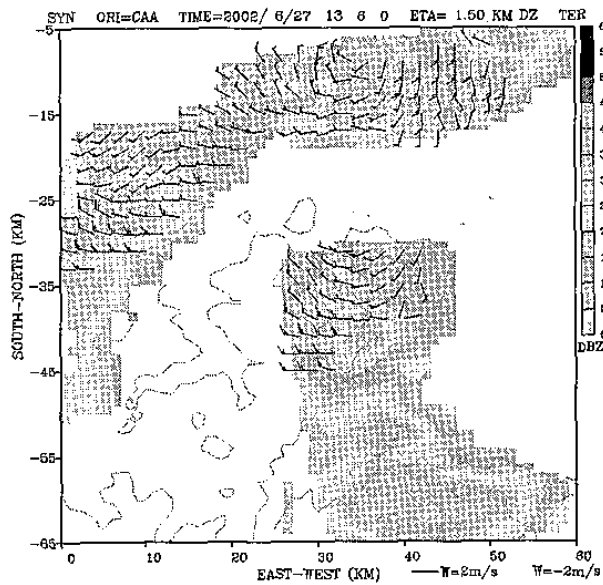


圖 13：2002 年 6 月 27 日 1306 LST S 範圍內
 $\eta = 1.5 \text{ km}$ 之水平風場及回波強度圖。

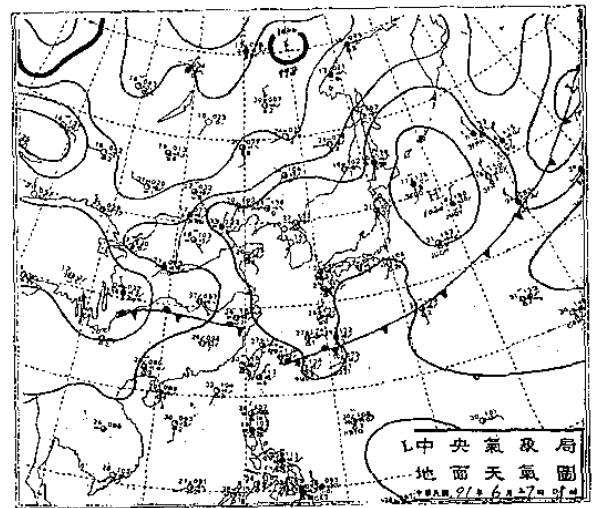


圖 12：2002 年 6 月 27 日 0800 LST 地面天氣圖。

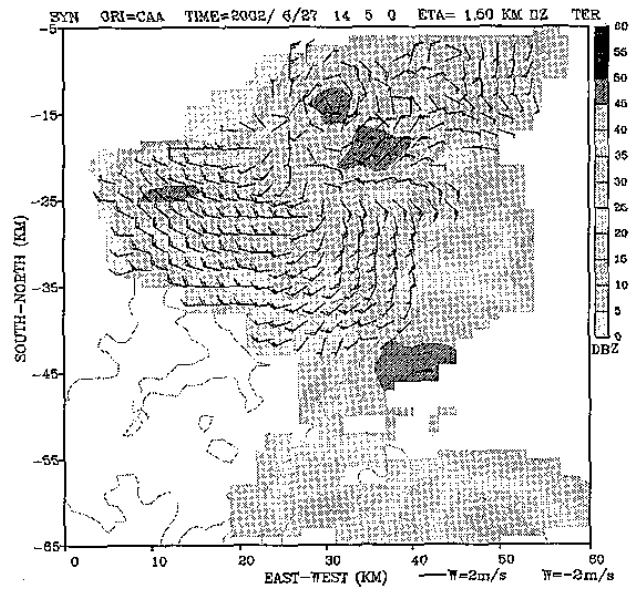


圖 14：同圖 13，但為 1405 LST。

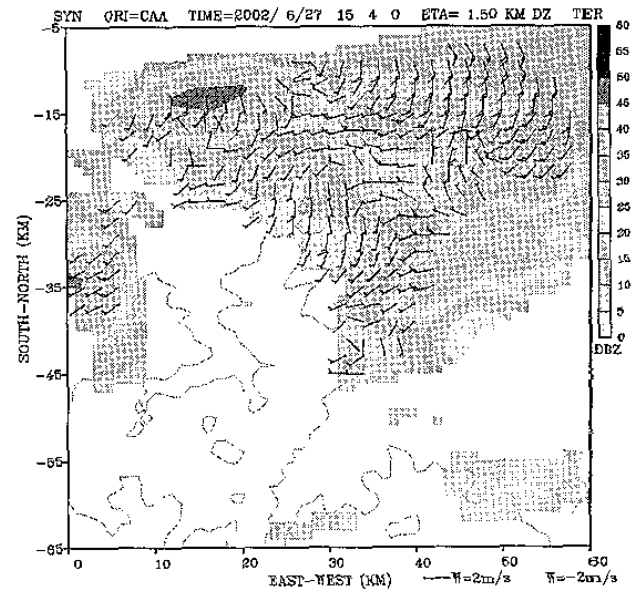


圖 15：同圖 13，但為 1504 LST。