

梅雨季北台灣雷暴系統之中尺度分析

卓智祥

摘要

2004 年和 2005 年 5、6 月份共有 18 個北台灣地區午後雷暴系統個案。在 18 個個案中，有 4 個個案 6 小時累積雨量高達 100mm 以上；另外共有 10 個個案累積雨量達 50mm 以上。依其雨量和回波分布地區的不同，主要可區分為盆地型、山區型、混合型。其中，分別個案數依序為 3、5、5 個。**盆地型**雷暴系統發展於台北盆地內，其垂直風切較小於其他類型，且其垂直於雪山山脈分量近乎於零。**山區型**雷暴系統發展於雪山山脈，其垂直風切遠較其他類型大，平均約 10 每秒公尺，且該垂直於雪山山脈分量皆往東，其分量的垂直風切平均大於 10 每秒公尺，其強烈的西風分量或許為其決定性的因素，使得此類型的個案只發展於雪山山脈，並且向東傳播不影響台北盆地。**混合型**雷暴系統在盆地和山區皆有發展，其垂直風切的大小介於盆地型和混合型之間，且該垂直於雪山山脈分量近乎於零，其分量的垂直風切介於 0~5 平均約 10 每秒公尺。

一、前言

劇烈天氣常會造成災情的發生，除了颱風、鋒面、MCS(mesoscale convective system)、等之外，由台灣各地區所發展的午後雷暴也常造成災情的發生。該雷暴系統不僅有雷擊的危險，其短時間所降下的豪大雨也常造成局部淹水或是土石流的災害。

Cotton and Anthes (1989)提出對流胞的移動和傳播主要來至三種不同的機制：

1. 平流作用：主要為來自環境的平均風場對整體對流胞的引導過程。
2. 外力強迫傳播：透過大於對流尺度的外力機制而激發新生對流胞的過程，如鋒面、海風鋒面、地形。
3. 自發性傳播：對流胞本身引發的外流邊界與環境間的交互作

用，或與其它外流邊界的交互作用，所產生的新生對流胞。

由於這三種不同的機制相互作用，造成對流胞不同移動方向和傳播。過去的研究下，低層輻合區則為對流激發與發展的前兆。由於低層輻合會加深低層水氣層的厚度，並產生有利於深對流發展的環境。

台灣各地區在暖季時，由於有充足的日照，再加上海陸差異與複雜地形，午後於山區、斜坡、平原皆有很大的機率形成雷暴系統。Chen and Chan (1994)用 TAMEX IOP11(Taiwan Area Mesoscale Experiment Intensive Operational Period 11)觀測資料和模式研究下，說明由地形上不均勻加熱造成的上坡風，對於發展於斜坡上雷暴系統的重要性。Jou (1994)利用中正機場雷達資料，分析台北盆地發生局部豪雨的原因。結果發現山區發展的雷暴系統，受盛行風影響西行至台北盆地，受到地形舉升的上坡風、含豐富水氣的海風環流、雷暴自身的外流，這三者間的交互作用使得雷暴快速發展劇烈，為台北盆地內帶來豪大雨。吳(1995)以 1987-1993 年 5、6 月在北台灣地區的山區對流個案，經由都卜勒風場的分析後，發覺山區對流常伴隨東北—西南走向的低層輻合帶，並將命名為北台灣輻合帶(Northern Taiwan Convergence Zone, NTCZ)。

由以上所述，對北台灣地區午後劇烈雷暴系統與局部環流的關係有相當程度上的認識。過去 Jou(1994)、吳(1995)等研究當中，所使用的資料為台灣桃園機場都卜勒雷達，當時的掃描策略為 30 分鐘一筆。這和一般單胞雷暴的生命期非常相近，對於雷暴的結構特徵變化和傳播方向，皆只能概略上的描述，無法詳細說明 30 分鐘

內的變化。1998 年中央氣象局五分山雷達正式開始運作，其雷達資料的時間解析度約可提高至每 6 分鐘一筆，空間解析度為 1km。對於發生於北台灣地區的雷暴系統，更可以詳細地描述其特徵變化和傳播方向。對於發生於北台灣地區的午後雷暴有更詳細地觀測與分析。

二、資料來源與研究方法

(一)資料來源：

中央氣象局：五分山都卜勒氣象雷達資料、板橋測站每 12 小時探空資料、局屬地面測站逐時資料。半月天氣一覽圖。

日本氣象廳：東亞地區每小時地面天氣圖及高空天氣圖。

(二)研究方法：

研究對象針對 2004 年和 2005 年，發生於北台灣地區的雷暴系統。所選取條件如下：

1. 研究時間以 5、6 月。
2. 研究區域將以台北盆地地區為主。
3. 北台灣地區地面測站有雷暴紀錄。
4. 系統為發生於內陸而非海上移入的。

地面測站為彭佳嶼、基隆、宜蘭、蘇澳、鞍部、竹子湖、淡水、台北、板橋、新竹等中央氣象局屬氣象站。

經過以上 4 個條件篩選 2004 年和 2005 年 5、6 月份五分山都卜勒雷達降水回波資料，總共可以得到 18 個北台灣地區午後雷暴系統個案(如表一)。

三、雷暴系統區域特徵

北台灣地區午後雷暴系統平均主要生命期約為 5.8 小時，最短為 2004/06/24 個案，生命期為 2.65 小時。最長為 2005/05/18 個案，生命期為 10.05 小時(如圖一)。從觀測得知，這些雷暴系統非單一雷暴，而是由複數以上的雷暴系統所組成的。

對於北台灣地區午後雷暴系統的降雨情形做些簡略分析，另外由於所統計的雷暴系統其生命期約 5.8 小時，遠較於中央氣象局的定義時間短，將 24 小時累積雨量的定義改為 05-10UTC(13-18LST) 的 6 小時累積雨量，以確保累積雨量為單純雷暴系統的降水，非為晚間海外移入系統的降水。分類依準如下：

- 6 小時累積雨量不足 50 毫米，稱之為一般雷雨。
- 6 小時累積雨量 50 毫米以上，稱之為大雷雨。
- 6 小時累積雨量 100 毫米以上，稱之為特大雷雨。

分類的標準為在北台灣地區若有一地面雨量站(自動雨量站亦可)達到上述的定義即可。圖二顯示，18 個案中，達到大雷雨定義的共有 10 個個案。而達到特大雷雨定義的則有 4 個，6 小時累積雨量超過 100 毫米，為 04/05/13 個案 165mm，04/05/31 個案 101mm，04/06/23 個案 103.7mm，05/05/18 個案 125mm。未達到大雷雨定義則只有 4 個個案。

另外從累積雨量的分布，也發現雨量分布在特定區域的特徵。在 04/06/23 個案為例(圖三)，雨量集中於台北盆地，而雪山山脈則沒有明顯的雨量。以 04/05/13 個案中(圖四)，則為相反的情形發生，發現雨量皆集中於雪山山脈北支的地區，台北盆地則沒有明顯的兩

量。在 04/05/31 個案中(圖五)，台北盆地和雪山山脈北支皆有明顯的降雨。而在 05/05/16 個案中(圖未示)台北盆地和雪山山脈北支皆沒有明顯的降雨。那麼，午後雷暴系統的降雨情形，則有可能局部性對於盆地或是山區有所影響，接下來將對於個案影響的區域，分析出其特徵。

本研究特徵分類，將先以一條 45° 東北西南走向的分隔線，劃分台北盆地和雪山山脈北支這兩塊區域，分別以 $20\text{km} \times 20\text{km}$ 範圍劃定台北盆地，以 $20\text{km} \times 50\text{km}$ 範圍劃定雪山山脈北支的區域(圖六)。將利用 3km 平均雷達回波圖，辨別出雷暴系統的強回波易在何處有長時間的影響。藉以區分出各個個案的平均回波特徵。雷達平均回波的強回波區域可以代表某種意義，為在此個案雷暴系統生命期中，強回波近似滯留於此區域內，並且維持其強度一段時間。那麼將藉此說明位於北台灣地區的雷暴系統的特徵。

以雷暴系統所影響的區域分成：強回波區域有無發展至山區、和有無發展至台北盆地。強回波區域定義為 35dBZ 以上的區域，其面積要大於 25 平方公里。分析後如表二所示，在 18 個個案中， 3 個個案主要影響盆地地區； 5 個個案主要影響雪山山脈北支地區； 5 個個案為兩地區皆有所影響。主要發展至台北盆地區域的類型，則稱之為**盆地型**。主要發展至雪山山脈區域的類型，則稱之為**山區型**。兩區域皆有雷暴系統發展的類型，則稱之為**混合型**。最後則有 5 個個案其強回波發展時間過短、或是強回波未移入選取的區域內。這些雷暴系統類型則統稱為**其他型**。若雷暴系統在桃園地區發展，隨後移入兩區域範圍內，則根據其主要影響範圍選定其類型(如

混合型 04/05/30 與混合型 04/05/31 個案)。

圖六為各個分類的初生期位置，各個個案生命期前 1.5 小時的平均回波圖。在盆地型的個案中(圖七 a)，雷暴系統的初生位置集中於台北盆地中間和西側。在山區型的個案中(圖七 b)，雷暴系統的初生位置在雪山山脈北支的東西側斜坡上皆有發展。在混合型的個案中(圖七 c)，雷暴系統的初生位置大都集中於兩個地方，台北盆地東側和雪山山脈北支的地區。

從混合型和盆地型中，得知台北盆地地區不光會受到雪山山脈斜坡發展的雷暴系統所影響，其本身區域也容易發展出雷暴系統，進而影響到台北盆地。另外，未在研究範圍內的桃園地區也有明顯的發展。

四、雷暴系統環境條件特徵

圖八為推估 11 點 CAPE-SHEAR 圖(對流可用位能-垂直風切圖)。結果顯示山區型皆分布於垂直風切大於 10ms^{-1} 的區域。而盆地型分布於垂直風切皆小於 10ms^{-1} 的區域。混合型則介於兩種類型之間。對流可用位能分佈則無明顯的規律。可以看到山區型，皆發展在垂直風切較大的區域，表示可能其類型需要動力作用發展的因素較大。相較於盆地型，其發生時垂直風切皆不大，表示動力作用的效應對其個案類型影響不大。混合型則介於兩種類型之間。

另外，早上 8 點的板橋探空其 CAPE 值過低，無法合理地說明雷暴系統發展前，對流可用位能所代表的熱力作用。Johnson and Bresch (1991)在 TAMEX 期間，分析低層邊界層的結構特徵變化。

在太陽輻射加熱後，混合層高度可達 850mb 或 1.5km。將利用 1100LST 的板橋地面溫度和混合層的高度特徵去推估 1100LST 的對流可用位能。則推估後的對流可用位能大約 2000 至 3000 左右。

將早上 8 點板橋探空的環境垂直風場，以雪山山脈北支的斜率(約為 45°)，區分出垂直雪山山脈分量和平行雪山山脈分量。圖九則是以垂直雪山山脈分量(U)和平行雪山山脈分量(V)，低層(500mb~SFC)各類型的 UV 分布圖。移動方向與盛行風相關性，從以上三種個案類型分析後得知，山區型的雷暴系統，若受到很強的往東吹的盛行風分量(約 5 每秒公尺以上)，雷暴系統會向東方移動，因此不會影響到台北盆地地區。從盆地型和混合型得知，台北盆地地區除了會受到本身地區所發展的雷暴系統所影響之外，也會受到在雪山山脈發展的雷暴系統的影響，此時並不需要強烈的往西吹分量，就會往盆地區域影響。

切一條西北—東南方向的剖面，如圖十所示。分析在各個個案中，盆地地面測站隨時間的變化。

盆地型個案中(圖十一)，淡水站多半有海風的生起，台北盆地內西風不明顯，那在這三個案中，在三重和板橋地區，有觀測到較為明顯地面風向的輻合發生。2004/05/29 個案、中午過後在三重地區有風向的輻合。

在山區型個案中(圖十二)，淡水地區不一定需要有明顯的海風環流，而在盆地內的地面測站皆有顯示較明顯的西風，一直持續至下午過後。2004/05/13 個案，淡水站則有較為明顯的海風，那麼從平均回波去分析這兩種個案的不同，最明顯的不同在於：海風不明

顯的個案，其平均回波在台北盆地這塊區域完全沒有回波存在。而在海風明顯的個案，在兩區域交接界面的斜坡，則有強度較弱的回波存在。

混合型個案(圖十三)淡水站皆顯示 1000LST 開始有海風環流生起，並且在下午 1500LST 以後，皆轉變為東南風的情況。其轉變為東風的時間較其它個案早。那麼從盆地內的地面風場，大致皆可以在中午以後觀測到風變的情況發生。

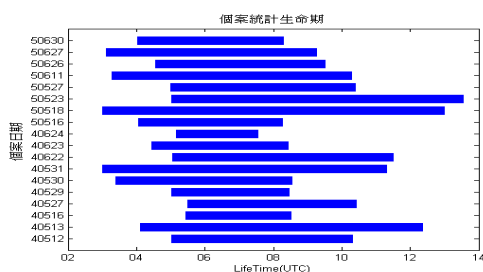
五、結論

2004 年和 2005 年 5、6 月份共可得到 18 個北台灣地區午後雷暴系統個案。在 18 個個案中，有 4 個個案 6 小時累積雨量可達 100mm 以上。另外有 10 個個案 6 小時累積雨量達 50mm 以上。依其雨量和回波分布地區的不同，主要區分出盆地型、山區型、混合型。

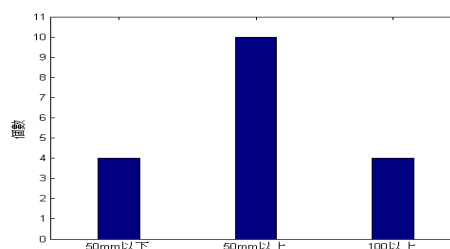
經由這兩年的統計後，發覺台北盆地地區受到午後雷暴的影響，不光是雪山山脈地區形成的，其台北盆地地區本身也會有午後雷暴的發展。雷暴系統的移動，在山區型的個案分析，其實和低層盛行風有高度的相關，這在過去的研究中皆有提過(Jou, 1994 ; Wilson and Megenhardt, 1997)，但是為何在雷暴系統會發展至盆地時，則不需要有很強的東風低層盛行風?Chen and Lin (2005)利用不穩定流過山的二維模擬中，當過山不穩定氣流微弱時，容易出現滯留於山頂、或是往氣流反方向傳播的個案類型出現；過山不穩定流較強的時候，則雷暴傳播方向會與不穩定流方向相同。

參考文獻

- 吳樹正，1995：北台灣輻合帶與山區對流。國立台灣大學碩士論文。共 119 頁。
- 周仲島、張茂興、何台華，1997：山區雷雨系統之降水與運動場結構分析。大氣科學，**25**，483-510。
- Carbone, R. E., J. W. Conway, N. A. Crook, and M.W. Moncrieff, 1990: The Generation and Propagation of a Nocturnal Squall Line. Part I: Observations and Implications for Mesoscale Predictability. *Monthly Weather Review*: **Vol. 118**, No. 1, pp. 26–49.
- Chen, C. -S., Y. -E. Chen, 1994: On the formation of cloud and precipitation systems in Taiwan during TAMEX IOP#11. *TAO*, **5**, 137-168.
- Chen, S. -H., Y. -L. Lin, 2005: Effects of Moist Froude Number and CAPE on a Conditionally Unstable Flow over a Mesoscale Mountain Ridge. *J. Atmos. Sci.*, **62**, 331-350.
- Cotton, W. R., and R. A. Anthes, 1989: Storm and cloud dynamics. Edited by R. Dmqwska and J. R. Holton. Academic Press, Inc. 540-558pp., 463-472pp.883pp.
- Johnson, R. H., and J. F. Bresch, 1991: Diagnosed characteristics of precipitation systems over Taiwan during the May-June 1987 TAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 2540-2557.
- Jou, B. J. -D., 1994: Mountain-originated mesoscale precipitation system in northern Taiwan : A case study 21 June 1991. *TAO*, **5**, 169-197.
- Wilson, J. W., and D. L. Megenhardt, 1997: Thunder initiation, organization, and lifetime associated with Florida boundary layer convergence lines. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 1507-1525.



圖一 2004 年和 2005 年 18 個午後雷暴個案，根據以 3km 等高面上，35dBZ 以上強回波的發展時間至消散時間，定義為雷暴系統的主要降水生命期。



圖二 2004 年和 2005 年 18 個午後雷暴個案，根據 6 小時累積雨量定義所作分類。50mm 以上，定義為大雷雨；100mm 以上，定義為特大雷雨。

作者為桃園航空氣象臺觀測員

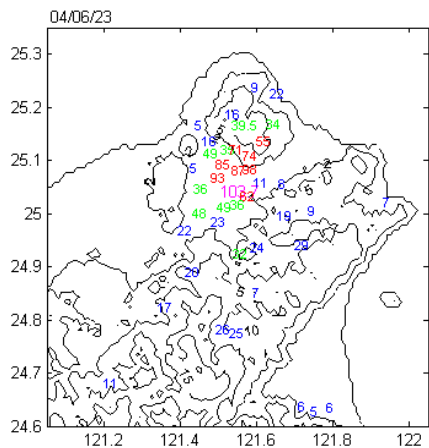
表一：個案生命期列表。

個案日期	生命期(UTC)	歷經時間(HR)
2004/05/12	0502-1033	5.51
2004/05/13	0412-1238	8.43
2004/05/16	0543-0853	3.16
2004/05/27	0550-1045	4.91
2004/05/29	0504-0849	3.75
2004/05/30	0339-0858	5.31
2004/05/31	0300-1132	8.53
2004/06/22	0506-1153	6.78
2004/06/23	0444-0845	4.01
2004/06/24	0517-0756	2.65
2005/05/16	0405-0829	4.4
2005/05/18	0300-1303	10.05
2005/05/23	0504-1358	8.9
2005/05/27	0501-1041	5.66
2005/06/11	0328-1031	7.05
2005/06/26	0455-0954	4.98
2005/06/27	0313-0928	6.25
2005/06/30	0403-0833	4.5

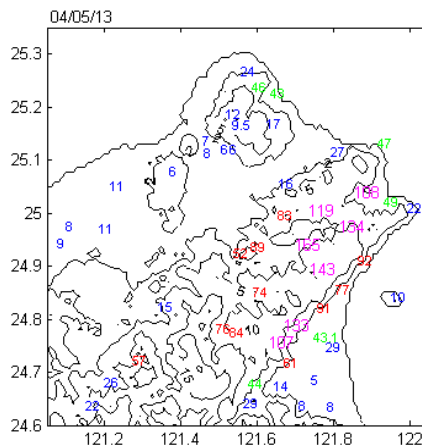
表二：北台灣午後雷暴個案發展影響區域表。

平均強回波區域 (共有 18 個個案)		發展至山區	
		有	無
發展至 盆地	有	5	3
	無	5	5

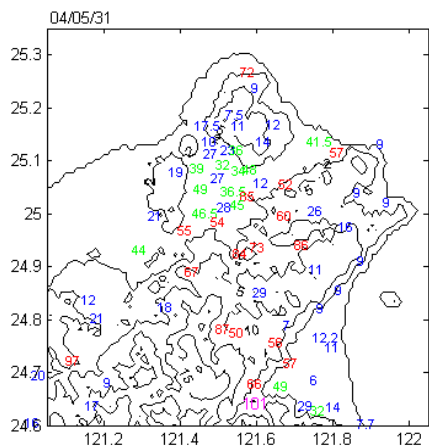
(兩區域皆無的個案包括：在桃園地區有強回波發展的個案(04/06/30)、和其他回波較弱的個案)。



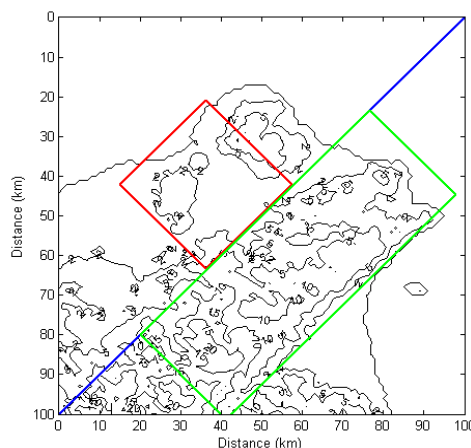
圖三 2004年6月23日6小時累積雨量分布。30mm/6hr 以上的降雨集中於台北盆地地區。



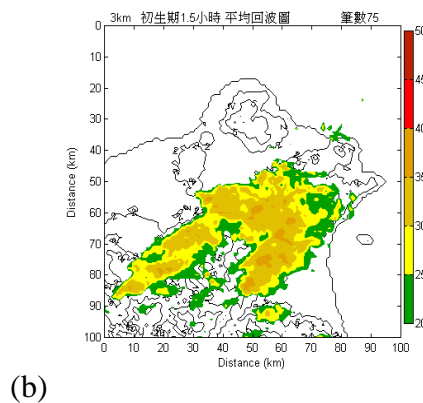
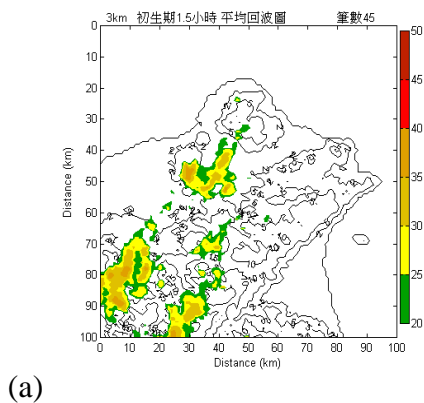
圖四 同圖三。但為2004年5月13日。30mm/6hr 以上的降雨集中於雪山山脈北支地區。



圖五 同圖三。但為2004年5月31日。30mm/6hr 以上的降雨在台北盆地和雪山山脈北支地區兩地區皆有。

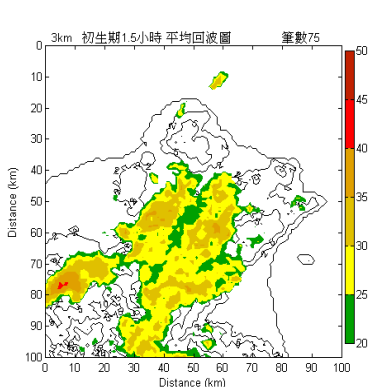


圖六 區域特徵分類示意圖。紅色範圍代表台北盆地地區 20km*20km。綠色範圍代表雪山山脈北支地區 20km*50km。



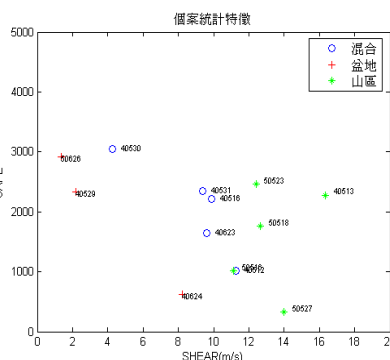
(a)

(b)

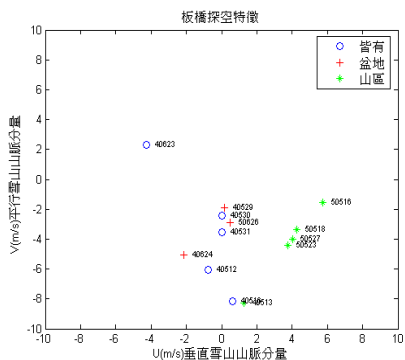


(c)

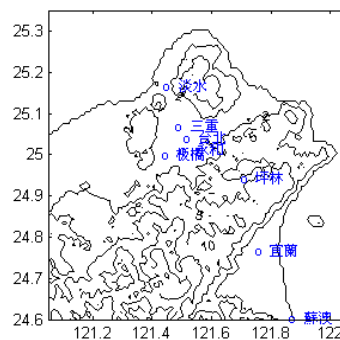
圖七 (a)盆地型的初生期位置。(b)山區型的初生期位置。(c)混合型的初生期位置。



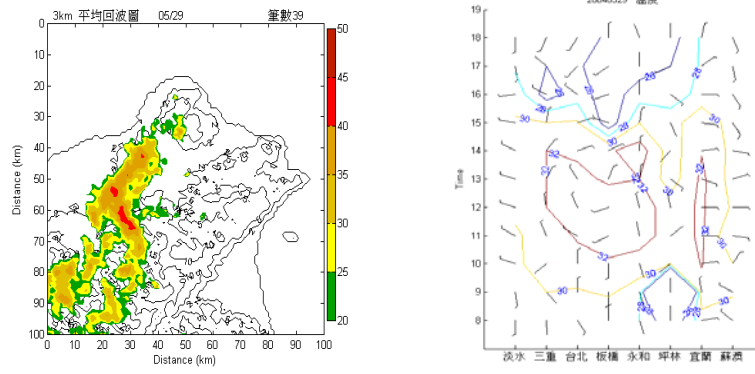
圖八 板橋探空 CAPE-SHEAR 特徵圖。CAPE為推估 1100LST 的估計值。SHEAR 為 0800LST 的垂直風切(500mb~SFC)。



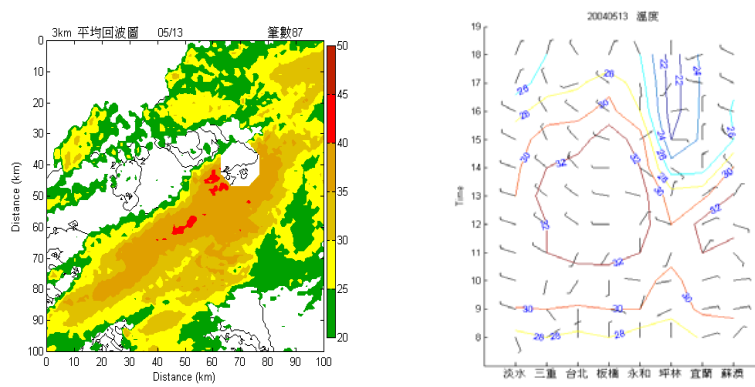
圖九 板橋探空 UV 特徵圖。U 為垂直雪山山脈分量低層平均風。V 為平行雪山山脈分量低層平均風(500mb~SFC)。



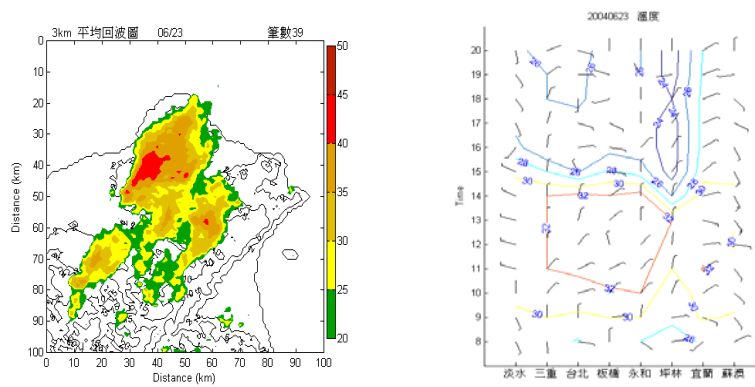
圖十 地面測站切面示意圖。東北-西南走向通過台北盆地和雪山山脈北支(測站依序為淡水、三重、台北、板橋、永和、坪林、宜蘭、蘇澳)。



圖十一 盆地型 3km 平均回波圖和局部風場溫度分析圖(04/05/29)。



圖十二 山區型 3km 平均回波圖和局部風場溫度分析圖(04/05/13)。



圖十三 混合型 3km 平均回波圖和局部風場溫度分析圖(04/06/23)。