

颱風外圍環流影響下東南部豪雨個案探討

潘大綱 戴志輝 蔡晉東 顏自雄

空軍氣象聯隊氣象中心

摘要

2002年八月五至六日，台灣地區在卡莫里颱風外圍環流影響下，除西南部出現較為集中的降雨之外，東南部沿海的成功鎮，也累積了近六百公釐的日雨量，換言之，本個案較大的雨勢並非僅出現在西南部地區；此外，東南部沿海豪雨期間，部分測站還出現異常之強陣風。本文分析各種觀測資料，以了解個案期間的綜觀與局部環境、氣流場、降雨及強陣風分布之時空關係，並利用數值模擬結果，說明地形所引起的局部環流特徵，在東南部沿海豪雨及強陣風過程中的重要性。

結果顯示，東南部沿海部分測站在雨量與風速上的異常，似與垂直逐漸向下增厚且增強的西南氣流密切相關，而上述特徵在地形影響下，於東南部沿海出現類似水躍現象的山岳波過程，此局部環流不僅增強了垂直運動，同時也說明了局部環流對劇烈天氣之發展扮演重要的角色。因此，在西南氣流環境下，除了聚焦於透過地形舉升作用引起的降雨之外，還應當注意肇因於其他地形因素的局部環流現象。

關鍵詞：強陣風、數值模擬、局部環流、水躍現象

一、前言

在夏季，熱帶系統常對台灣西南部帶來可觀雨量，這樣的結果不論在觀測分析或數值模擬 (Lin et al., 2001; Wu et al., 2002) 均已有多項佐證；2002年八月五至六日間，台灣地區在輕颱卡莫里影響下盛行偏南氣流，運用劇烈地形降水成分指標 (common ingredients index, $q \cdot \vec{V}_H \cdot \nabla h$) 的概念 (Lin et al., 2001)，推論西南部發生地形降雨的趨勢應逐漸明顯，實際日累積雨量的確也反映出西南部降雨較為集中；然而八月五日最大日雨量卻出現於非迎風面的東南部沿海，其中成功鎮單日降雨近六百公釐，且正當降雨最強的時候，台東、成功測站及台東機場還出現異常之強陣風；因此，儘管基礎成分法概念能有效地將西南氣流環境與西南部地形降雨作關聯，但仍需配合另一套概念模式，才足以合理且完整地說明本個案中東南部沿海所出現的豪雨及強陣風。

二、觀測資料分析

根據東南部沿海測站逐時雨量 (圖 1)，降雨最強為八月五日本地時下午 15 時至八月六日凌晨 03 時 (八月五日 0700UTC 至 1900UTC) 間，尤以成功鎮為甚。在降雨最集中時段前後，東南部沿海測站均有強陣風記錄 (圖 2)，整體而言，自八月五日 0800UTC 起，成功、台東測站及台東機場陣風陸續增強，且幾乎同時在 1700UTC 至 1900UTC 之間達到最強，而同一時段成功站時雨量也達最高值，顯示上述各測站地面風的增強與成功站降雨強度變化趨勢一致，由於稍遠的大武站並沒有這種特徵，又東南部沿海的降雨均集中於山脈右側，並未涵蓋中央山脈，即東南部豪雨及強陣風現象的空間尺度並不大，應是局部環流發展的結果。

八月四日 0600UTC 以後，紅外線雲圖所見台灣附近主要的颱風外圍雲系可分為兩部分 (圖 3)，其一為

自南海北部漸向台灣海峽發展並靠近本島陸地後減弱的雲帶，其二為在東部海域局部所發展出的雲系，前者移動十分緩慢，後者更似具有滯留特徵。從卷雲發展的時間序列，顯示東部海域雲系的發展，與豪雨及強陣風出現的時間有相當一致。

根據 NCEP 全球模式分析場，八月五日 0000UTC 及 1200UTC 時，台灣東部及海域，在 700hPa 以下潛在性不穩定度十分顯著 (圖 4)；綜觀氣流場 (圖未附) 及屏東探空顯示，中低層氣流與中央山脈的夾角隨高度增加而增大，強風亦向下伸展 (表一)；八月五日 1200UTC 時，中低層水氣供應充沛 (1000hPa 混合比為 20.5 gkg^{-1} ，700hPa 以下平均混合比也達 15 gkg^{-1})、舉升凝結高度甚低 (998hPa) 且與自由對流高度相同、風速強勁，而 CAPE 值則達 $1207 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ，又劇烈地形降水的成分指標，自八月五日 0000UTC 至 1200UTC，1000hPa 由 3.0 gmkgs^{-1} 增至 5.1 gmkgs^{-1} ，925hPa 更由 10.4 gmkgs^{-1} 增至 11.9 gmkgs^{-1} ，顯示西南部發生劇烈地形降水的基礎成分條件逐漸有利。另據表一，估計八月五日 0000UTC 在 700hPa 以下低層平均西風分量的 Fr 值約為 0.3，而在 1200UTC 時，Fr 值增大為 0.4，由於西南部降雨的潛熱釋放使穩定度降低，因此實際 Fr 值應較觀測估計值更大，定性上可確定西風分量越過中央山脈南段的潛勢會更明顯；換言之，個案當時的環境氣流，不但具有引發西南部劇烈地降雨的潛勢，同時也具有跨越中央山脈南段的能力。

中央氣象局全島氣象雷達回波的時、空間解析度較高，可分析出較多的中尺度特徵。八月五日 0230UTC 至 1730UTC 間，東部海域始終有回波存在但強度時有消長；八月五日 0230UTC 起，東南部沿海開始有回波新生，其尺度遠小於東部外海者，寬度約十至二十公里，長度超過一百公里，呈現北北東—西南

西走向的細長帶狀組織，大致上與中央山脈平行；換言之，個案中東部海域較明顯的回波，應區分為東部外海及東南部沿海兩個體系（圖 5），與地面觀測資料比對後，東南部沿海豪雨及強陣風的出現，與此細長帶狀回波之發展關係密切。

三、數值模擬與結果

本文使用美國國家環境預報中心(NCEP)1997 年版區域波譜模式 (RSM) 架構二重靜力的 RSM，其下嵌入修正版 (Juang, 2000) 的非靜力中尺度波譜模式 (MSM)，進行單向三重的巢狀區域數值模擬；模式積分區域由大至小積分，分別稱為 RSM100、RSM20 與 MSM4，數字則表各重模組水平解析度（圖 6，單位為公里），由粗到細網格分別使用 10、5、2 分真實的地形資料。選取 2002 年八月四日 0600UTC 之 NCEP 全球模式水平及垂直解析 T179L42 分析場，作為 RSM 模擬的初始及邊界值，靜力 RSM 和非靜力 MSM 預報模擬積分各執行 72 與 39 小時。二重靜力 RSM 的物理過程大致與 Hor 等 (2001) 模組相似，最內重非靜力 MSM4 不考慮 Simplify Arakawa Schubert 積雲參數化假設，並改用五濕變數 q_v 、 q_c 、 q_i 、 q_r 、 q_s （水氣、雲滴、冰晶、雨、雪）伴隨過冷卻水的顯式預報雲物理模式 (Hong et al., 1998)，餘設定與 RSM20 相同。本文目的在探討個案中台灣東南部沿海豪雨及強陣風的機制，八月五日 0000UTC 前的結果不詳加論述。

自 RSM20 模擬開始，東部外海即出現不太變動的底層輻合帶，在 600hPa 高度上，東部外海的輻合帶已不存在（圖 7），即其垂直發展並不深厚；由於模擬降雨區（圖 8）均沿底層輻合帶發展，並順著環境風場向下游移動，即低層輻合帶在動力上提供了釋放潛在不穩定度的條件，此低層輻合帶及所伴隨降雨區，位置與強度雖略有變動，但大致上均分布於東部外海，與雷達所見持續的寬廣回波一致。

模式也能掌握東南部沿海細長帶狀回波特徵；MSM4 模擬第三十五小時（八月五日 1700UTC）沿海降雨發展最明顯（圖 8）。當氣流遇較高地形阻擋時，透過風速或穩定度層化結構的部分反射與非線性過程的共同作用、平均狀態或自我激發的臨界層 (mean-state or self-induced critical layer) 等機制，均可能會改變單純的靜力山岳波，引起劇烈的天氣過程 (Dierking, 1998; Hopkins, 1994; Lin and Wang, 1996)，其最明顯的特徵是背風面近地表的強陣風、中高對流層山岳波的破碎以及伴隨水躍現象的強上升運動；根據前述 Fr 值分析，個案之東西向剖面的非線性二維山岳波反應漸增強，背風面應利於水躍過程特徵發展，並伴隨地面強陣風出現，而在地表強陣風下游前緣的深厚上升運動區，正好提供潛在不穩定度釋放以加強對流的條件；MSM4 模擬第三十五小時，跨越山

脈的西南風最強，降雨區就在強西南風前緣沿著海岸發展，形成北北東—南南西走向的帶狀外觀，沿著 22.75°N（台東機場所在緯度）的剖面，正顯示出類似水躍過程的風速分布特徵（圖 9），即上游中層較強風速、背風面地表強陣風與中高層弱風速區、下游深厚的上升運動，而深厚的上升運動成為東南部沿海降雨區發展的重要原因。

四、結論

本個案探討的主要目的，在於分析 2002 年八月五至六日卡莫里颱風外圍偏南氣流影響下，台灣東南部豪雨及強陣風的形成機制，由觀測資料及模擬結果的分析，可以歸納出以下重要結果：

- (一)、 個案中東部海域的對流，分由東部外海與東南部沿海兩個不同的系統造成，其中東南部沿海系統造成的降雨甚至遠較西南部明顯，部分測站還同時觀測到強陣風，這種局部環流特徵所代表的涵義應深入討論。
- (二)、 低層偏南氣流受中央山脈阻擋而分流，其中山脈右側的分流又與環境氣流形成低層的輻合帶，在條件性不穩定環境下，成為提供釋放潛在不穩定度的條件，遂形成雲圖所見東部外海寬廣的雲系組織；又全島氣象雷達在東南部沿海所觀測到北北東—南南西走向的細長帶狀回波，則與逐漸向低層增強、增厚的西南氣流，在跨越中央山脈南段後，產生類似山岳波過程的水躍現象相關，在同樣的條件性不穩定大氣環境下，此局部環流不但加強了垂直運動，激發出強對流形成豪雨，還造成局部地區地面的強陣風。
- (三)、 就預報作業的角度而言，熱帶系統所引進的西南氣流，會對西南部帶來降雨，這樣的觀念在本個案中再一次獲得驗證，除此之外，還應當注意迎風面以外地區降雨的可能性，在適當的環境下，透過其他地形效應甚至還會激發出豪雨。

五、致謝

感謝中央氣象局所提供之資料及空軍氣象中心所有同仁在資料蒐集、開放討論以及行政上的支援。

六、參考文獻

Dierking, C. F., 1998: Effects of a mountain wave windstorm at the surface. *Wea. Forecasting*, **13**, 606-616.

- Hong S.-Y., H.-M.H. Juang and Q. Zhao, 1998: Implementation of prognostic cloud scheme for a regional spectral model, *Mon. Wea.Rev.*, **126**,2621-2639.
- Hopkins, R. H., 1994: Anchorage windstorm of 1 December 1992. *Wea. Forecasting*, **9**, 469-478.
- Hor, T.-H., F.-C. Lu, J.-D. Tsay and H.-M.H. Juang,2001: Application strategy of NECP/RSM and NCEP/MSM models over the Southern China and Taiwan areas. 3rd International RSM conference, July. Taiwan, IV-4.
- Juang,H.-M.H.,2000: The NCEP mesoscale spectral mode: A revised version of the nonhydrostatic regional spectral model. *Mon. Wea.Rev.*, **128**,2329-2362.
- Lin Y. L., S. Chiao, T. A. Wang, M. L. Kaplan, and R. P. Weglarz, 2001: Some common ingredients for heavy orographic rainfall. *Wea. Forecasting*, **16**, 633-660.
- Lin, Y. L., and T. A. Wang, 1996: Flow regimes and transient dynamics of two-dimensional stratified flow over an isolated mountain ridge. *J. Atmos. Sci.*, **53**, 139-159.
- Wu C. C., T. H. Yen, Y. H. Kuo, and W. Wang, 2002: Rainfall simulation associated with Typhoon Herb(1996) near Taiwan. Part I : the topographic effect. *Wea. Forecasting*, **17**, 1001-1015.

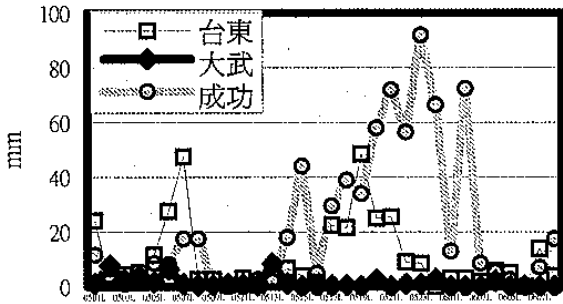


圖 1 2002 年八月五日 01 地方時至六日 08 地方時成功、台東與大武測站時雨量。

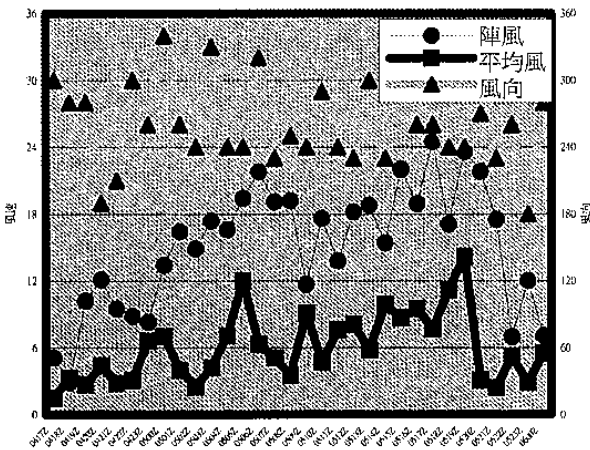


圖 2 2002 年八月五日 0100UTC 至八月六日 0000UTC 成功站逐時風場。



圖 3 2002 年八月五日(a)0600UTC 及 (b)1800UTC 紅外線衛星雲圖。

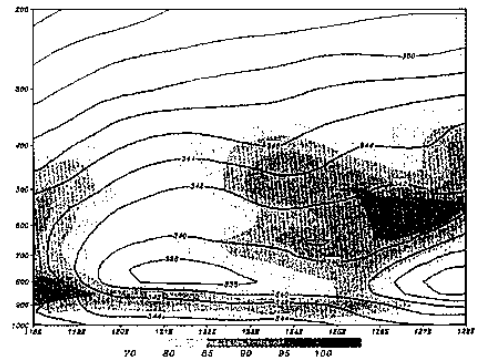


圖 4 2002 年八月五日 0000UTC，沿著 22.0°N 剖面。等值線為相當位溫，單位為 K，間距為 2；陰影區為相對溼度，間距為 5%。

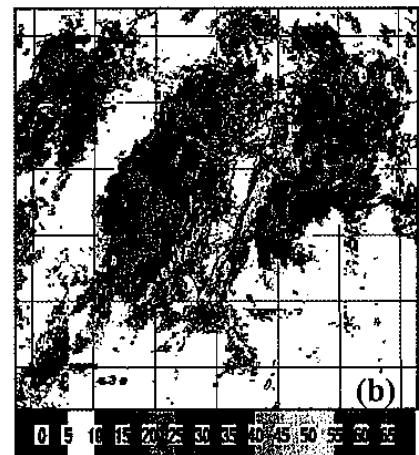
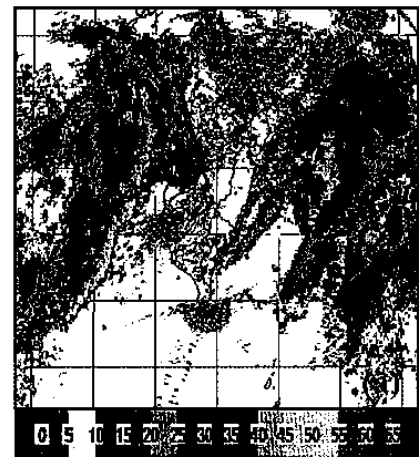


圖 5 2002 年八月五日 (a)0600UTC 及 (b)1800UTC 之中央氣象局全島氣象雷達回波。灰階及所對應數值為回波強度，單位為 dBZ，間距為 5。

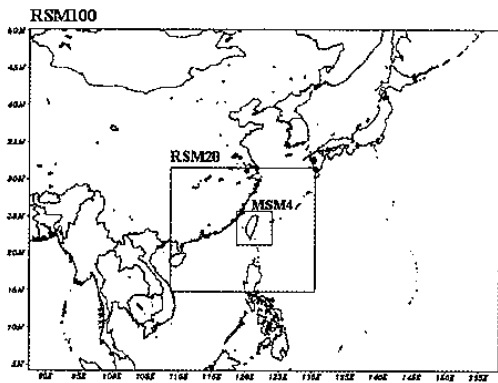


圖 6 三重巢狀模式積分區域。

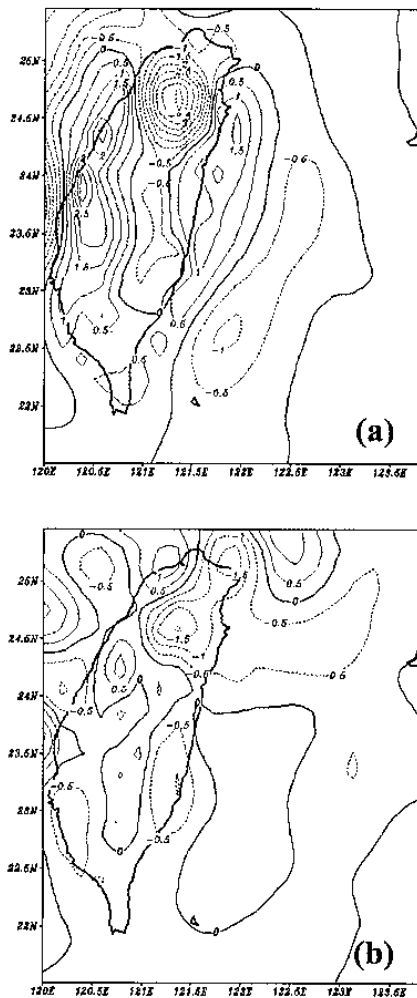


圖 7 RSM20 模擬至第 30 小時之(a) 850hPa 及(b)600hPa 輻散場。數值已乘以 10000，單位為 s^{-1} ，等值線間距為 0.5。

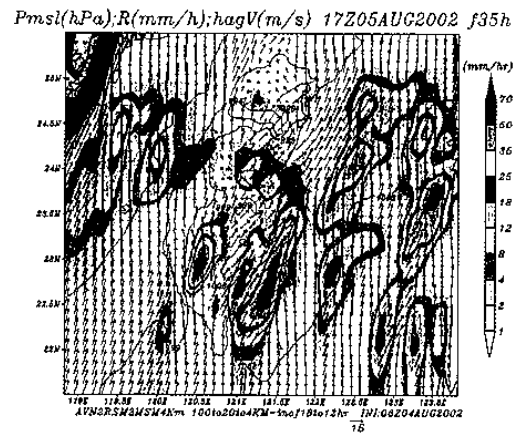


圖 8 MSM4 模擬第三十五小時（八月五日 1700UTC）之結果。等值線為海平面氣壓，單位為 hPa，間距為 3；陰影區為時雨量，單位為 $mmhr^{-1}$ ，間距參考色階；箭號為 10 公尺高度風場，單位為 ms^{-1} ，風速值參考右下尺標。

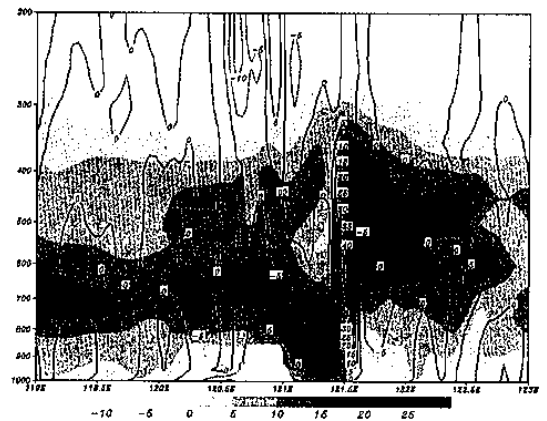


圖 9 MSM4 模擬第三十五小時（即八月五日 1700UTC），沿著 22.75°N 之剖面。陰影區為西風分量，單位為 ms^{-1} ，間距為 5；等值線為垂直速度，數值已除以 10，單位為 cms^{-1} ，等值線間距為 5；白色區域為地形。

表一 2002年八月五日 0000UTC 及 1200UTC
屏東探空風場

高度	風場 DDDWW(DDD 爲風向 度數，北風爲 360°；WW 爲風速，單位爲 kts)	
	0000UTC	1200UTC
地面	16011	15009
1000hPa	19021	22016
1000ft	19528	22030
2000ft	20044	23531
925hPa	20533	24038
3000ft	20544	23034
4000ft	20545	23530
850hPa	21547	23039
6000ft	21543	22036
7000ft	22042	22534
8000ft	22039	24038
9000ft	22040	25039
700hPa	22042	23040
平均西 風風速	19.5 kts /9.8 ms^{-1}	26.3 kts /13.2 ms^{-1}
Fr	0.3	0.4