

暖季降水個案於青康藏高原之日夜變化研究

黃小玲¹ 王重傑² 陳泰然¹

1 台灣大學大氣科學所

2 師範大學地球科學所

Hsiao-Ling Huang¹, Chung-Chieh Wang², and George Tai-Jen Chen¹
1 Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University
2 Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

摘要

本研究使用 Weather Research and Forecasting (WRF) 模式模擬 2002 年 5 月 2 日至 6 日期間，日間於青康藏高原生成、夜間組織、加強，並受中高層大氣槽線的影響而東移之對流系統。模擬結果發現，對流雲帶及降水區的東移速度約為 12.2 m s^{-1} ，與 GMS 衛星雲頂溫度圖所見者相似；模式 15 公里解析度之垂直速度場分布，顯示青康藏高原與其周圍平地間隨日夜變化伴有明顯的局部環流，日間高原受太陽加熱而產生大範圍的上升運動，有利於激發對流系統，反之，夜間青康藏高原冷卻時，上升運動則發生在周圍平地區域。因此，當對流雲於夜間移至平地時，亦有利於其增強與發展。由 European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) 1.125° 之網格分析資料與模式結果，可看出，青康藏高原至高原東側之陡坡區域（約 90°E ~ 105°E, 30°N ~ 40°N；地形高度差約達 1500 至 2000 公尺）於低層大氣之熱力場與渦度分佈，在日間與夜間呈現明顯的反相情形。

一、前言

目前世界各國針對暖季的豪（大）雨定量降水預報 (quantitative precipitation forecasts; QPF) 技術普遍不足，較冷季甚至颱風季的技術得分明顯為低 (Olson et al. 1995; 陳等 1991)。有鑑於此，世界各先進國家的氣象研究與作業單位，莫不將暖季對流降水預報的改善，列為未來十年的重要工作之一 (Shapiro and Thorpe 2002)。Carbone et al. (2002) 分析美國大陸地區暖季 (5-8 月) 期間，以雷達回波反演之對流降水強度顯示於經度-時間二維剖面中 (Hovmöller 圖)，則可看出降水事件隨時間具有明顯的東移特性，如圖 1 所示；並針對此種降水事件東移現象作進一步的研究與探討 (例如 Carbone et al. 2005; 2006)。暖季降水的時空尺度常遠較個別中尺度對流系統 (mesoscale convective systems; MCSs) 為大，甚至可超過 3000 km 與 60 h 的規模，因此在降水預報上具有應用的潛力與價值，若預報模式能適當掌握這些降水事件東移的機制，則可望能大幅改善暖季定量降水預報。而暖季降水資料的平均日夜變化顯示，對流降水事件隨經度的分佈並非完全隨機，而是傾向於一日當中之特定時間出現的特性

(Dai et al. 1999; Ahijevych et al. 2004)，如圖 2 所示，北美大陸地區的對流降水傾向於 0000 UTC (當地 1700 LST) 左右在 104°W 附近，即洛磯山脈的東側山坡上開始發展，隨後在夜間與凌晨時段向東移行經過大平原區，最後在隔日午後到達約 90°W 附近。對流在午後的發展，顯然與洛磯山脈顯著地形在日間具有較強的輻射加熱有關。因此，本研究藉由 WRF 模式模擬 2002 年東亞大陸地區之暖季降水個案，以探討暖季降水於東亞大陸地區的東移特性，及青康藏高原與其周圍平地間隨日夜變化所伴隨的局部環流，對於暖季降水強度之激發與發展的重要性。

二、研究方法及實驗設計

本研究採用 WRF (Weather Research and Forecasting) 模式 V2.2 版本 (Dec. 2006 Release)，模擬 2002 年 5 月暖季對流降水系統的強度及結構。實驗模擬的水平網域共 3 層，其網格大小分別為 45、15、及 5 公里，垂直的有 31 層。模擬時間為 2002 年 5 月 2 日 1200 至 6 日 1200 UTC，共 96 小時。模擬實驗之邊界層及初始場資料取自歐洲中期天氣預報中心 (European Center for

Medium-Range Weather Forecast; ECMWF) 之 $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$ 全球分析資料。模擬實驗使用 Grell 積雲參數法(Grell 1993), 由於 5 公里網域已有能力解析中、小尺度的天氣現象, 因此, Grell 積雲參數化方法僅使用於 45 公里及 15 公里網域; 雲微物理過程則使用 Lin et. al (1983) 參數化方法, 邊界層參數化方法採用 YSU scheme、及 Dudhia (1989) 大氣輻射方法。而由於一般區域或中尺度模式在預報初期數小時內具有模式起轉 (spin-up) 的問題, 故本研究使用 WRF 模式預報於 12-96 h (5 月 3 日 0000 至 5 月 6 日 1200 UTC) 期間之結果, 與 GMS T_{wv} 衛星資料及歐洲中期天氣預報中心 (ECMWF) $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$ 全球分析資料作校驗。

三、模擬實驗結果與討論

本研究之 GMS 衛星 5 km、ECMWF 及 WRF 模式 5 km 網域資料, 於暖季降水個案的東亞地區經度-時間二維分佈的計算範圍分別為 30° - 40° N, 95° - 125° E, 而模擬暖季降水個案期間 (2002 年 5 月 2 日 1200 至 6 日 1200 UTC) 之天氣主要為綜觀大範圍槽線系統為主, 因此, 該降水事件的降水東移情形主要由中至高層大氣之綜觀環境所主導。如圖 2 之衛星雲頂溫度, 與模擬雲頂溫度及每小時降水的 5 km 解析資料的比較得知, 模擬實驗結果與觀測資料分佈近似, 其雲帶及降水東移速度皆約為 12.2 m s^{-1} 。而青康藏高原白天受太陽加熱及夜間長波輻射冷卻作用, 使得低層大氣之熱力及動力物理場呈現明顯的日夜變, 如圖 3 之 850 hPa 渦度場及相當位溫於 ECMWF 之 1.125° , 與 WRF 模擬 45 km 網域資料於經度-時間二維分佈的比較, 可看出青康藏高原地區 (105° E 以西, 其地形高度為 3000 至 5000 公尺) 所呈現出之明顯的日夜變化。

另於青康藏高原與周圍平地區域 ($90 \sim 105^{\circ}$ E, $30 \sim 40^{\circ}$ N, 地形高度差可達 1500 ~ 2000 公尺高度) 的 700 hPa 垂直速度 (ω ; Pa s^{-1}) 擾動場 ECMWF 之 1.125° 與 WRF 模擬 45 km 網域資料, 於 5 月 3 日 1800 及 5 月 4 日 0600 UTC 之水平分佈比較, 可看出 3000 公尺地形高度 (103° E, 30° N) 的東西兩側呈現出日夜的反相位情形 (如圖 4 所示, 資料擾動的計算為扣除 5 月 3 日 1200 至 5 月 5 日 1200 UTC 平均資料); 由於夜間 (1800 UTC) 冷卻作用, 使得西側青康藏高原為大範圍下沉運動, 東側至四川盆地低地則為上升運動區域; 反之於日間 (0600 UTC) 太陽輻射加熱使得西側、東側分別為上升、下沉運動。另於圖 5 之 700 hPa 相當位溫、高度及水平風擾動場, 於 ECMWF 與 45 km 模擬資料之高原東西兩側的日夜差異, 可看出上升運動對應相當位溫暖區, 有助於對流系統的激發及結構的增強; 反之下沉運動對應相當位溫冷區則抑制對流系統的

發展; 且相當位溫擾動場於 3000 公尺地形高度區域 (103° E, 30° N) 的東西兩側亦呈現日夜的反相位情形。

四、未來展望

未來準備進行的研究工作將進一步研究青康藏高原地形所伴隨局部環流的日夜變化, 對其它暖季降水個案之結構與強度的影響。另外將透過地形及輻射能量敏感度實驗的模擬, 與控制組實驗的比較, 以瞭解青康藏高原局部環流之強度受地形及輻射能量的影響情形為何, 並探討其對於暖季降水結構與強度的影響。

參考文獻

- Ahijevych, D. A., C. A. Davis, R. E. Carbone, and J. D. Tuttle, 2004: Initiation of precipitation episodes relative to elevated terrain. *J. Atmos. Sci.*, **61**, 2763-2769.
- Carbone, R. E., D. A. Ahijevych, A. Laing, T. Lang, T. D. Keenan, J. D. Tuttle, and C.-C. Wang, 2006: The diurnal cycle of warm season rainfall frequency over continents. 27th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, 23-28 April, Monterey, California, USA, 13D.1, 1-5.
- Carbone, R. E., A. Laing, T. D. Keenan, C.-C. Wang, and G. T.-J. Chen, 2005: Conditions associated with warm season rainfall over Africa, Australia, China and the United States. Fifth International Scientific Conference on the Global Energy and Water Cycle. 20-24 June, Costa Mesa, California, USA, 256.
- Carbone, R. E., J. D. Tuttle, D. Ahijevych, S. B. Trier, 2002: Inferences of predictability associated with warm season precipitation episodes. *J. Atmos. Sci.*, **59**, 2033-2056.
- Dai, A., F. Giorgi, and K. E. Trenberth, 1999: Observed and model-simulated diurnal cycles of precipitation over the contiguous United States. *J. Geophys. Res.*, **104** (D6), 6377-6402.
- Dudhia, J. 1989: Numerical simulation of convection observed during the Winter Monsoon Experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 3077-3107.
- Grell, G. A., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus

- parameterizations. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 764 - 787.
- Lin, Y. -L., R. D. Farley, and H. D. Orville, 1983: Bulk parameterization of snow field in a cloud model. *J. Climate Appl. Meter.*, 22, 1065-1092.
- Olson, D. A., N. W. Junker, and B. Korty, 1995: Evaluation of 33 years of quantitative precipitation forecasting at the NMC. *Wea. and Forecasting*, 10, 498-511.
- Shapiro, M. A., and A. J. Thorpe, 2002: The observing system research and predictability experiment (THORpex). Proceedings, International Conference on Mesoscale Convective Systems and Heavy Rainfall/Snowfall in East Asia, 29-31 October, Tokyo, Japan, 1-12.
- 陳泰然、謝信良、陳來發及陳清得，1991：台灣地區現階段豪（大）雨預報能力。*大氣科學*，19，177-188。

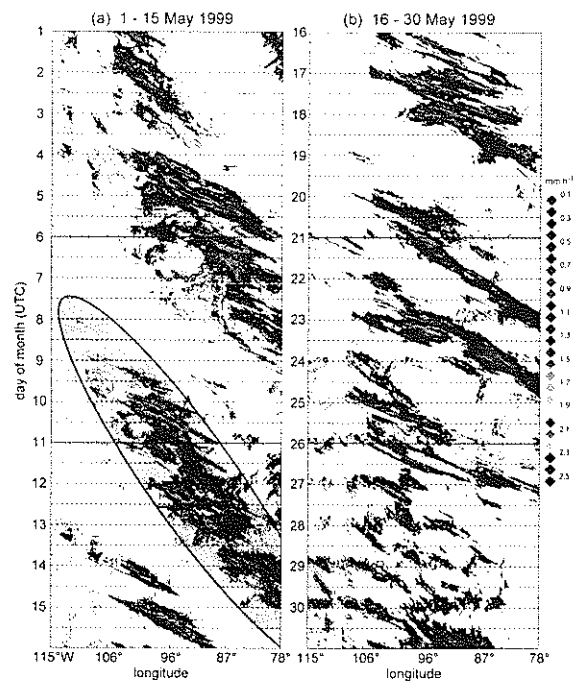


圖 1 美國大陸地區暖季期間，以雷達回波反演之對流降水強度(mm h^{-1}) 在經度-時間二維剖面中之分佈。南北向平均範圍為 30° - 48° N，經度為 78° - 115° W。左側為 1999 年 5 月，右側為 1998 年 7 月。(from Carbone et al. 2002)

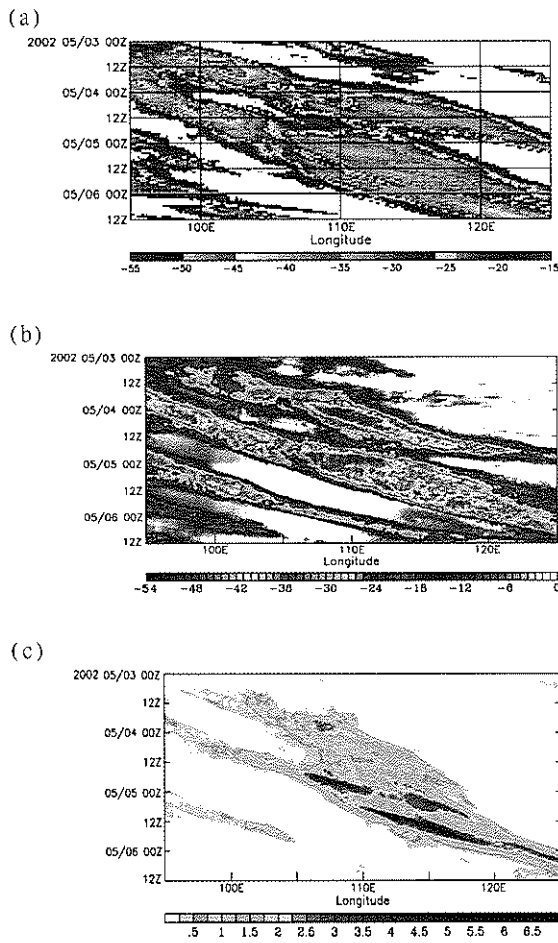


圖 2 2002 年 5 月 3 日 00 UTC 至 5 月 6 日 12 UTC 於(a) GMS-5 衛星之紅外線 *TBB* 資料(°C)，與 WRF 模式模擬 5 km 網域資料之(b)雲頂溫度，與(c)每小時降水，在東亞大陸地區之經度-時間剖面分佈圖。

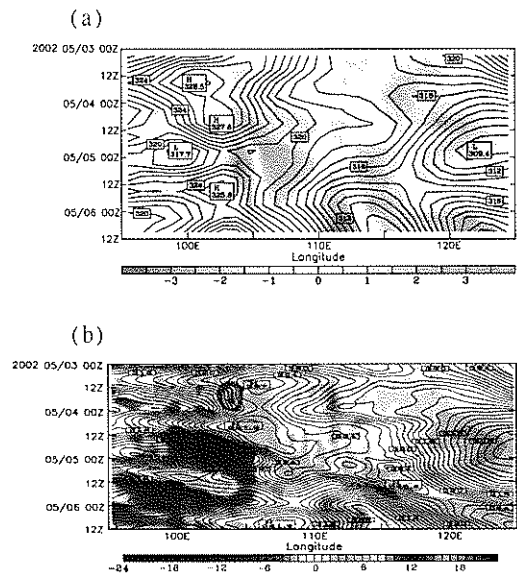


圖 3 2002 年 5 月 3 日 00 UTC 至 5 月 6 日 12 UTC 之 850 hPa 渦度場與相當位溫於(a) ECMWF 1.125°與(b) WRF 模擬 45 km 網域資料，在東亞大陸區之經度-時間剖面分佈圖。色階為渦度場，等值線為相當位溫，間距為 1 K。

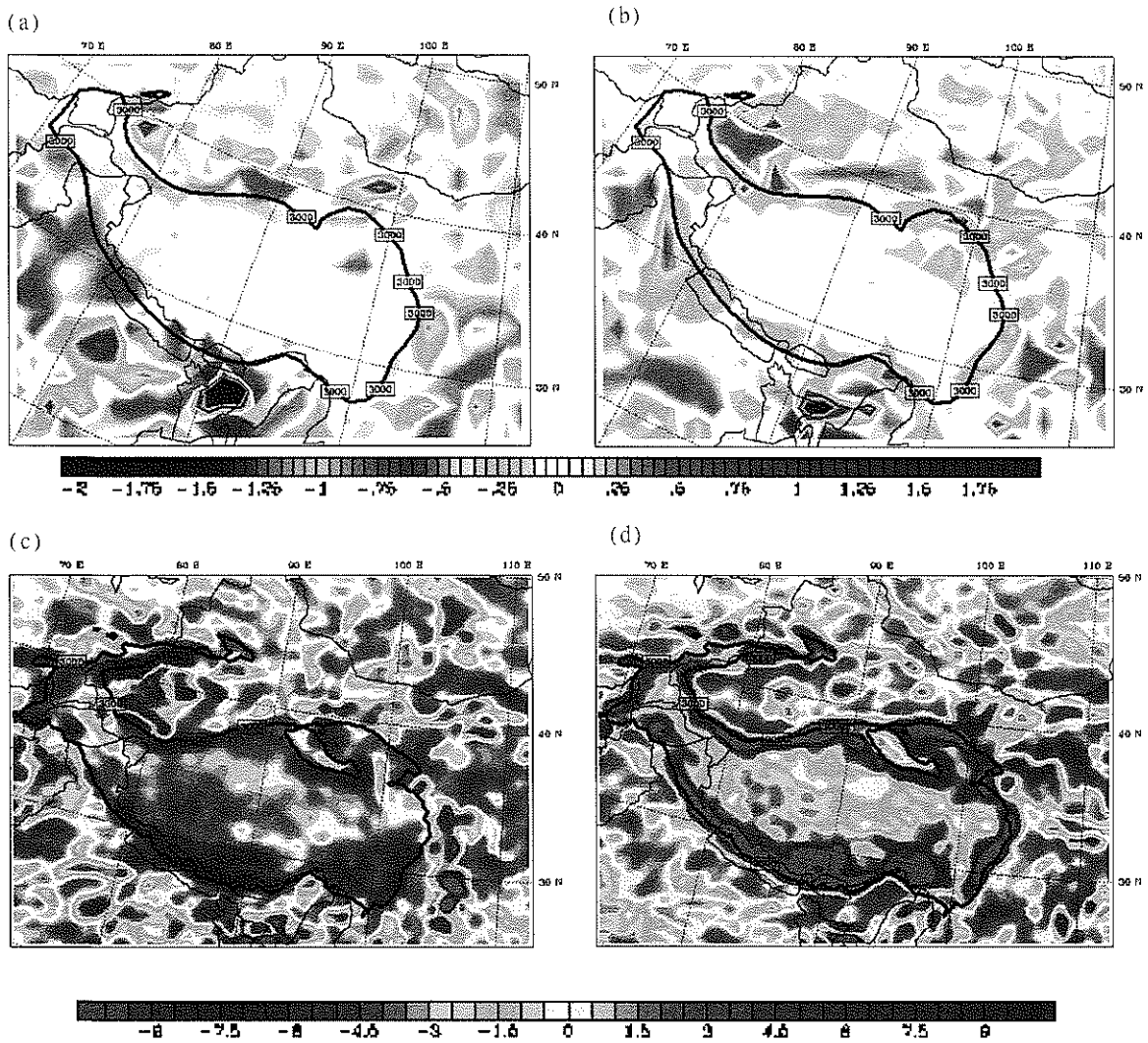


圖 4 700 hPa 之垂直速度(ω ; Pa s^{-1})擾動場於 2002 年 5 月(a) 3 日 18 UTC 與(b) 4 日 06 UTC 之 ECMWF 1.125° , 及(c) 3 日 18 UTC 與(d) 4 日 06 UTC 之 WRF 模擬 45 km 網域的水平分佈圖。色階為垂直速度場, 粗實線為 3000 m 地形高度線。

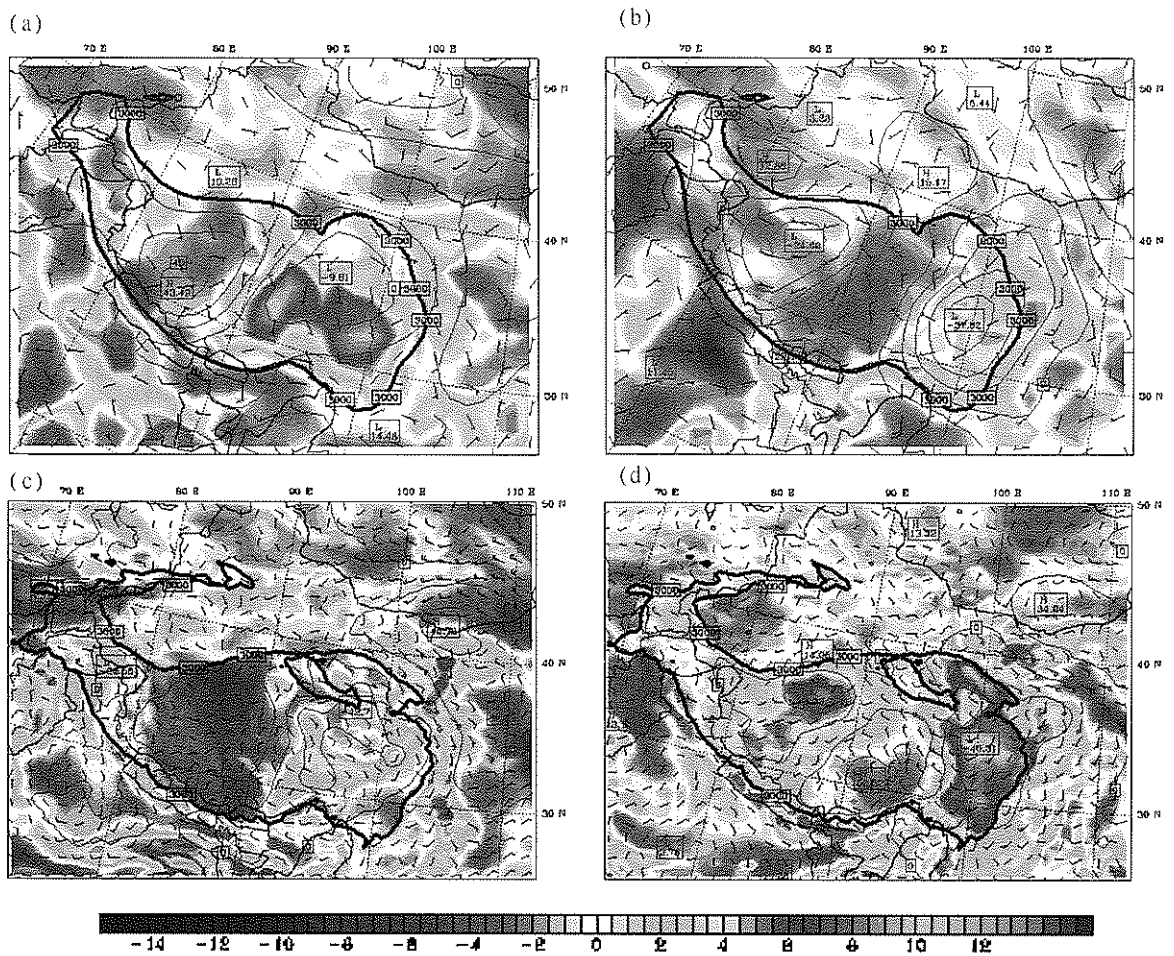


圖 5 700 hPa 之相當位溫(K)、高度(m)及水平合成風($m s^{-1}$)擾動場於 2002 年 5 月(a) 3 日 18 UTC 與(b) 4 日 06 UTC 之 ECMWF 1.125°, 及(c) 3 日 18 UTC 與(d) 4 日 06 UTC 之 WRF 模擬 45 km 網域的水平分佈圖。色階為相當位溫場、實線為高度場、及粗實線為 3000 m 地形高度線。