

梅雨季台灣東南方線狀對流之個案模擬研究

王重傑

國立台灣師範大學地球科學所

黃偉銘

私立中國文化大學大氣科學所

一、前言

觀測顯示，台灣東至東南方近海，常出現滯留性之線狀對流窄帶。此類對流帶寬度約 5-10 km，整年均可發生，但較常見於冬季至春末夏初。它們多在夜間形成並可能持續至次日白天，走向大致與海岸線平行，移動緩慢，距岸則約 15-50 km (Alpers et al., 2007; Yu and Lin, 2008)。其形成環境並非伴隨鋒面而多處弱綜觀條件，當低層盛行氣流具有東北至偏南之向岸風分量，而台灣東南沿岸氣流具離岸風分量，顯然此兩反向氣流間之輻合，為其主要激發機制 (Yu and Lin, 2008)。至於離岸流的來源可能為局部環流，如山風或陸風，此並與其好發於夜間之特性一致。但也可能是在低夫如數 (Fr) 情況下，盛行氣流受台灣地形阻擋所造成的低層迴流，此則可解釋日間之個案 (Alpers et al., 2007)。由於海上缺乏觀測，沿岸低層離岸流的確切來源究為何者，或是兩種過程共同作用，甚至其他可能，目前尚無定論，對於此類對流帶詳細的維持與演變過程，也仍缺乏完整瞭解。為補觀測之不足，本研究使用名古屋大學「雲解析風暴模式」(Cloud-Resolving Storm Simulator; CReSS; Tsuboki and Sakakibara 2002)，針對 1998 年 5 月 14-15 日夜間發生於台灣東南方近海之個案，進行高解析度模擬。Yu and Jou (2005) 對此個案曾有詳細的觀測分析研究，故有較多資料可用於驗證模式結果。

二、個案簡述

個案期間之天氣圖顯示，地面梅雨鋒位於台灣以北近似滯留，15 日始漸接近 (圖未示)。台灣地區氣壓梯度弱，盛行偏弱之東南—南南東風。低層風隨高度順轉，850 hPa 風速仍低，700 hPa 為 10 m s^{-1} 之西南風，以上風速略增 (圖未示)。綠島 (LT) 雷達回波顯示，線狀對流在 14 日 2100 LST 前已於成功 (CK) 附近開始發展 (圖 1a)，並漸延伸至 15 日 0330 LST 達最長 (圖 1b)，距岸約 15-20 km，之後逐漸斷裂減弱並緩慢東移 (圖 1c)，至 0900 LST 後始完全消失 (圖未示)。

三、模式與實驗設計

因對流帶寬度僅數 km，欲合理模擬必須具有高解析度。為達此目的，本研究先以歐洲中期天氣預報中心 (ECMWF) 每 6 h 之 0.5° 網格分析資料作為初始與側邊界條件 (IC/LBC)，以 10 km 之水平解析度 (D1) 模擬個案前後台灣鄰近地區之大氣演變，再以 10 km 模擬結果作為 IC/LBC，進行 2 km 解析度之模擬 (D2，垂直向共 60 層) 以解析台灣之島嶼局部環流。最後再

以 2 km 之結果作為 IC/LBC，進行個案夜間時段 500 m 之高解析度模擬 (D3)，各實驗模擬區如圖 2，模式設定則如表一所示。依此方法，最後在 D3 實驗中成功模擬出線狀對流的形成，並持續發展直到 15 日晨間，與雷達觀測之演變 (圖 1) 相似。

四、模擬結果

D2 實驗中，於台灣島已可產生合理的日夜溫差與局部環流變化。以台東 (TT) 為例，模擬之地面最大日夜溫差約 6°C (圖 3)，與 Yu and Jou (2005) 相符。而且，離岸流在日間午後即已出現，成功站亦如此，顯然與夜間山/陸風無關。D1 在 14 日日間之模擬顯示，因鋒面緩慢接近，2 km 以下的盛行南南東風略有增強 (圖未示)，而 Fr 估計僅 0.15，故東部海岸山脈之阻擋效應勢必增強，導致低層迴流出現，與理論相符。輻合帶於海面最強並呈滯留 (圖 4a)，厚度約 500 m 之離岸流在日落後亦漸增強 (圖 4b)，應為山/陸風之效應。垂直剖面顯示，離岸流增強，輻合帶漸向外海推出至約 15 km，並於 0330 LST 達最強 (圖 4c)，此時最大上升速度 (450 m 處) 可達 30 cm s^{-1} ，雖形成淺積雲但無法達到自由對流。

D3 模擬於 14 日 2300 LST 開始，共 9 h (表一)。開始積分後，近地層輻合很快達到 $-5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 以上並激發出深對流，且南側者頗靠近成功站 (圖 5a,b)。伴隨降水出現，下衝流在海面造成輻散外流 (圖 5c,d)，外流邊界前緣並產生新的輻合帶，隨時間分向左右兩側移動 (圖 5e)。同時，對流帶亦漸南伸 (圖 5d)，與觀測相符 (圖 1a,b)。沿著新輻合帶，特別是東側之外流與盛行風輻合者，則又激發出新對流 (圖 5e,f)。如此，對流胞不斷在台灣東南方近海生成消散，直到 15 日晨間 (圖 5g,h) 以後，對流活動始逐漸趨緩 (圖未示)。此過程中，雲內最大上升速度常達 10 m s^{-1} 以上 (圖 5，下方列)。隨對流反覆消長，新輻合帶亦漸斷裂破碎，故近清晨時段之對流逐漸喪失線狀結構而轉為個別胞狀 (圖 5，右欄)，亦與圖 1b,c 相符。通過對流胞之垂直剖面顯示，D3 中夜間離岸流厚度約僅 400 m，但其前緣在初激發對流時約可達 800 m (圖 6a)。降水發生後 (圖 6b) 亦可見近海面之輻散外流向外推進 (中心約在 121.54°E)，並在其前緣引發新的上升運動。

五、結論

本研究使用 CReSS 模式，針對 1998 年 5 月 14-15 日夜間發生於台灣東南方近海之線狀對流個案，進行水平解析度達 500 m 之模擬。結果顯示，本個案之近

地層輻合帶在日間即已出現，顯示離岸流之來源為海岸山脈對環境（向岸）南南東風阻擋所產生之迴流。入夜後，山（陸）風進一步增強離岸流，使其向外移動並成功激發出對流窄帶。對流發生後，伴隨降水之下衝流在近地層造成向左右兩側移出的外流邊界，其前緣又可激發新對流，特別是東側與盛行風間之輻合帶，明顯較為活躍。如此，對流雲反覆消長，一直持續至次日晨間。

參考文獻

- Alpers, W., J.-P. Chen, I.-I. Lin, and C.-C. Lien, 2007: Atmospheric fronts along the east coast of Taiwan studied by synthetic aperture radar images. *J. Atmos. Sci.*, **64**, 922-937.
- Yu, C.-K., and B. J.-D. Jou, 2005: Radar observations of the diurnally forced offshore convective lines along the southeastern coast of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 1613-1636.
- Yu, C.-K., and C.-Y. Lin, 2008: Statistical location and timing of the convective lines off the mountainous coast of southeastern Taiwan from long-term radar observations. *Mon. Wea. Rev.* (in press)
- Tsuboki, K., and Sakakibara, 2002: Large-scale parallel computing of cloud resolving storm simulator. *High Performance Computing*, H. P. Zima et al., Eds., Springer, 243-259.

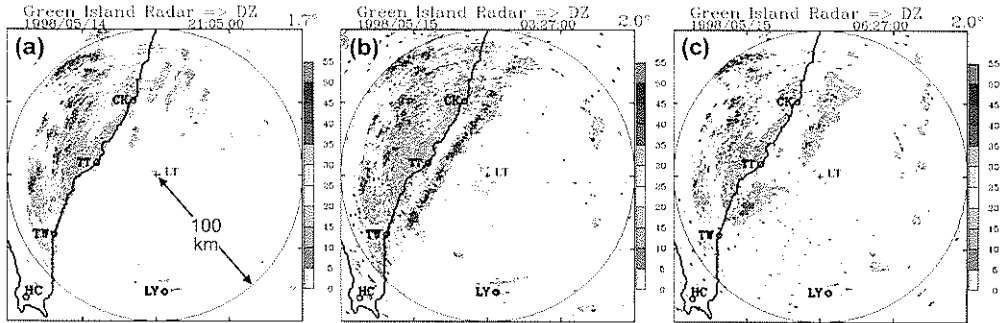


圖 1 綠島雷達低仰角 (1.7°或 2.0°) 回波圖，陸上者為地形雜波。1998 年 5 月 (a) 14 日 2105 LST 與 15 日 (b) 0327 LST，(c) 0627 LST。(文大游政谷教授提供)

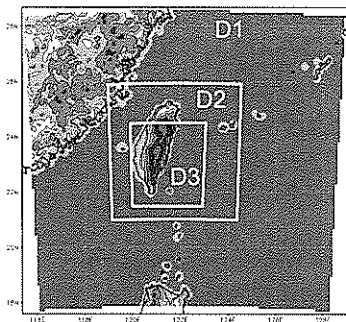


圖 2 模式區域設定。色階為 D1 (10 km) 區域與地形 (m)，白框為 D2 (2 km) 與 D3 (500 m) 區域。

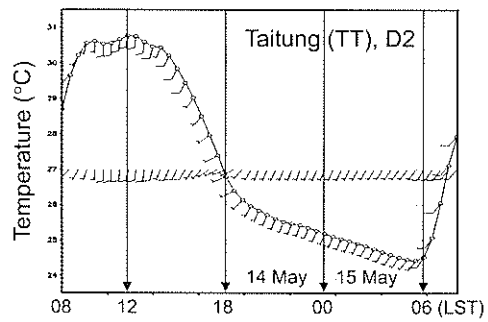


圖 3 D2 模擬之台東地面溫度 (°C) 與水平風速 (m s⁻¹) 時間序列。風標全桿為 4 m s⁻¹，半桿為 2 m s⁻¹。

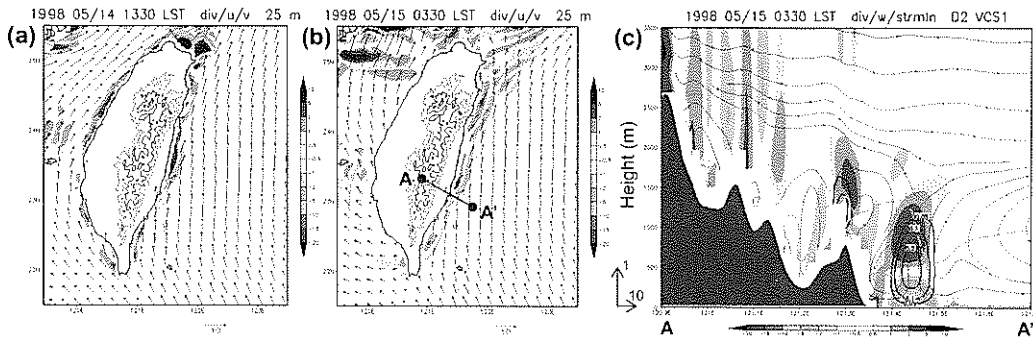


圖 4 D2 模擬 (a) 14 日 1330 LST 與 (b) 15 日 0330 LST，25 m 之水平散度 (10⁻⁴ s⁻¹，色階) 與風場 (m s⁻¹，矢線)，及 1, 2, 3 km 等高線。(c) 與 (b) 同時間沿 AA' 剖面之散度 (色階)，上升運動 (m s⁻¹，粗實線) 及氣流線。灰色粗虛線為向岸/離岸流分界，矢線比例如標示。

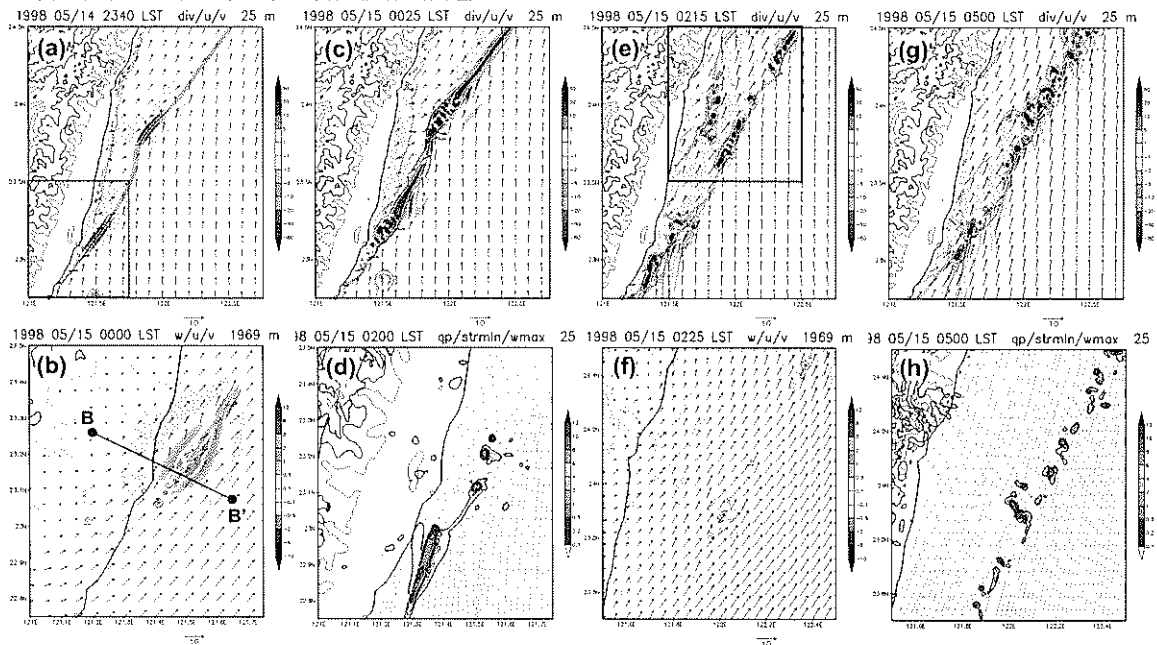


圖 5 上方列同圖 4a，但為 D3 模擬在不同時間之結果。(b),(f) 分別為橘、紫框區域內近 2 km 處之垂直速度 (色階) 與水平風 (均 $m s^{-1}$)。(d),(h) 同 (b),(f) 但為氣柱內最大上升速度 (粗實線, 依序為 0.5, 2, 6, 10 $m s^{-1}$) 及 25 m 之降水粒子混合比 ($g kg^{-1}$, 色階) 與氣流線。各子圖時間如上方標示。

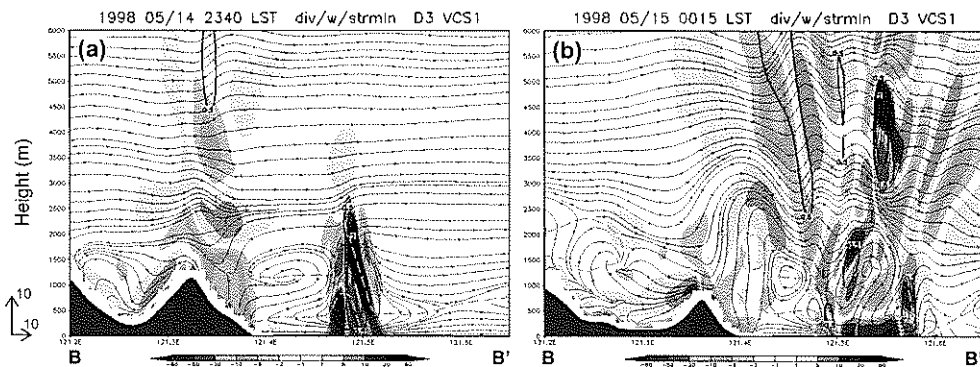


圖 6 同圖 4c，但為 D3 模擬在 (a) 14 日 2340 LST 與 (b) 15 日 0015 LST，沿 BB' 剖面 (見圖 5b，跟隨對流胞) 之結果。矢線比例如左下方標示。

表一 本研究三種解析度模擬實驗之 CReSS 模式基本設定，區域範圍如圖 2。

實驗名稱 (解析度)	D1 (10 km)	D2 (2 km)	D3 (500 m)
投影方式	藍伯特保角, 中心 122°E, 相割於 20°N 與 40°N		
格點數 (x, y, z)	132 × 120 × 40	272 × 272 × 60	648 × 672 × 60
最小 Δz, 模式頂高度	150 m, 24 km	50 m, 20.8 km	50 m, 18 km
初始與側邊界條件	ECMWF 0.5°, 6 h	D1 run, 1 h	D2 run, 30 min
初始時間, 積分長度	5/13 08 LST, 60 h	5/14 08 LST, 24 h	5/14 23 LST, 9 h
結果輸出間距	1 h	30 min	5 min