

敏督利颱風侵襲期間的落雷分析

林得恩¹、戴志輝²、任亦偉³、顏自雄²

空軍氣象聯隊¹

空軍氣象中心²

空軍第五天氣中心³

摘 要

2004 年 7 月 1 日台灣受到敏督利 (MINDULLE) 颱風侵襲。從颱風侵襲到遠離這段期間,中南部出現連續數日的豪雨,其中 7 月 2 至 4 日最大日雨量分別達到 730.5、670 及 837.5 毫米。落雷資料的時間序列分析顯示,個案期間對流的強度、發生位置與移動路徑變動性均極大,表示對流發生的原因應加以區分;這樣的結論亦符合時雨量及亮度溫度分析所區分的降雨階段。

關鍵詞:落雷。

一、前言

台灣幾乎每年夏季,在颱風過後都會發生豪雨事件,尤其是在利於氣流輻合的地形附近,這樣的劇烈地形降雨事件在歷史上屢見不鮮 (Lin et al. 2001)。透過劇烈地形降雨基礎成份的概念,西南氣流引發暴洪 (Flash flood) 的原因,其實可以分成兩類,一為有利的大氣環境,另一則為地形 (Doswell et al. 1996; Chiao and Lin 2003); 在颱風侵襲期間,地形更是決定了雨量分布的位置與強度 (Wu et al. 2002)。

敏督利颱風自南向北襲台 (圖 1), 2004 年 7 月 1 日晚間颱風登陸花蓮,後由北部出海,在其侵襲及遠離台灣過程中,中南部出現了連續豪雨,期間近地面的低層大氣均盛行西南風 (參考顏等, 2005, 圖 1), 且基礎成份指數 (Lin et al. 2001) 也顯示個案的確與西南氣流密切相關 (表一), 直到 7 月 5 日降雨才逐漸緩和。

根據時雨量及 IR1 亮溫分析所呈現的特徵,個案的豪雨應區分為三個不同的降雨階段 (顏等, 2005, 後續將簡稱前文), 不過由於海面上沒有與量資料,亮溫分析也僅能定性上描述雲系分布與強度的變化,仍無法完

全代表個別對流的強弱,因此分析與中尺度對流系統關係密切的落雷 (Houze, 2004) 資料,才能了解個案中對流的演化過程。由於豪雨是由對流引起,而落雷的位置與頻率又反映對流的發展過程,所以七月二至三日間與七月四日以後,不同的落雷分布特徵,就說明了在西南氣流環境下,降雨是有階段性變動的。本文第二節說明落雷資料的分析策略;第三節配合前一節的結果,以區分出降雨的階段;第四節則為結論與未來展望。

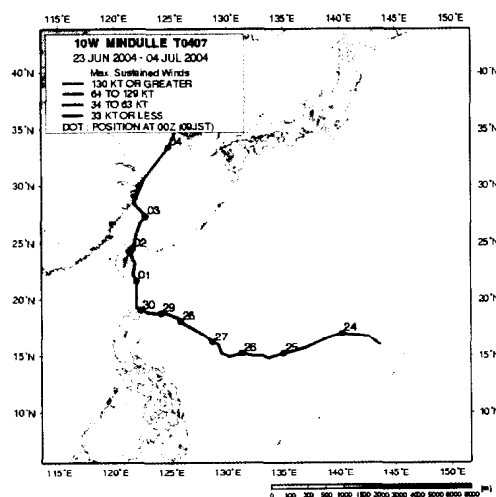


圖 1 敏督利侵台路徑。其中兩碼數字為日期。

表一 7 月 2 至 5 日屏東探空劇烈地形降水基礎成份及指數

日期 (月/日)		7/2		7/3		7/4		7/5
時間 (UTC)		0000	1200	0000	1200	0000	1200	0000
Basic ingredients at 925 hPa	Wind speed (ms^{-1})	11.5	24.5	24.5	14.5	17.5	12.5	5.5
	Moisture content (gkg^{-1})	15	17.5	19.5	19	19.5	18.5	18
Common index : $U \cdot \nabla h \cdot q$ ($mgs^{-1}kg^{-1}$)		5.7	14.2	15.8	9.1	11.3	7.6	3.3

二、落雷資料的分析策略

我們分析台灣附近 (21.5 至 25.5°N、119 至 123°E) 四個經緯度範圍內、自 7 月 1 日 1200 UTC 起，至 7 月 4 日 1800 UTC 止的落雷資料時間序列，以量化這段期間對流的強度，同時也根據累積雨量時空分布的特徵，對照前文所區分的敏督利颱風登陸後的降雨階段。

本文所分析的落雷資料，來自於台灣電力公司的「整合型閃電落雷系統」(Total Lightning Detection System, TLDS)，其偵測天線分布於台灣本島及外島共七處地點，各天線的有效偵測半徑約為 200 公里，該系統隨時紀錄所有雲對地 (CG) 及雲中 (IC) 放電的發生時間、經緯度、極性、上升時間、衰減時間、電流峰值等訊息，傳回中央系統並經過演算後，再增加電場強度、電流上升速率、能量、帶電量等參數並回傳用戶。由於資料在時、空間上具有即時與密集性，除了有助於設備及飛安的維護之外，在大氣環境的診斷上亦極具價值。

由於落雷資料同時具有時間及空間上的連續性，所以我們將個案期間的資料區分為經向—時間序列 (沿各經度的所有緯度落雷總次數時間序列)，及緯向—時間序列 (沿各緯度的所有經度落雷總次數時間序列) 等兩種展示方式。以經向—時間序列為例，將所

選取的東—西方向空間範圍 (119 至 123°E)，以每 0.04 個經度 (約 4 至 5 公里) 的寬度，切割成 100 個細長矩形，然後將每一個細長矩形所包括的南—北方向空間範圍 (21.5 至 25.5°N)，在每一個小時之內所發生的所有落雷次數加總後，再以時間序列顯示，同樣的作法亦應用於緯向—時間序列落雷資料的處理上。

在同一個時間點上，如果在經向及緯向—時間序列，均出現連續的高頻率落雷紀錄，則代表對流具有足夠的空間尺度，而若在某個經度或緯度上，連續幾個時間點都出現高頻率的落雷紀錄，則代表對流可能具有足夠的時間尺度。換言之，一個時間持續夠長、空間範圍夠大且發展旺盛的對流系統，在經向或緯向—時間序列上，將會展現出連續的高頻率落雷紀錄 (圖 2)，例如 path1 就是指沿著 20°N、自西向東移動的深對流所留下的落雷紀錄，而 path2 就是指沿著 120°E、自南向北移動的深對流所留下的落雷紀錄，同理，path3 就是指自西南向東北移動的深對流所留下的落雷紀錄。

至於不論在經向或緯向—時間序列上，若出現獨立且頻率偏低的落雷紀錄，因為在時間及空間上都不具有系統性，伴隨深對流的可能性相對較低。例如在經向—時間序列中，標示於 7 月 1 日 1800 UTC、119.3°E 附

近的 A (圖 3)，不但在時間上是獨立的，與其它的紀錄並不具有延續性，甚至因為在緯向—時間序列中也沒有出現相對應的紀錄，因此判斷它在空間上也沒有連續性，且累計的次數又低（在之前所定義的時空範圍內出現 100 次以下），故應並非伴隨系統性的深對流所出現。

事實上，自 7 月 1 日 1300 UTC 至 7 月 2 日 0600 UTC 之間，儘管台灣附近亮溫偏低（225K 左右，參考前文圖 7），但不論在經向（圖 3）或緯向（圖 4）—時間序列中，都僅有特性類似 A 的零星落雷散布於 24°N 以

南的各個經度上，看不到持續性的高頻率落雷紀錄，其所象徵的意義是，在敏督利登陸以後，一則颱風環流減弱，二則颱風環流內部並不利於深對流發展，所以低亮溫反映的多半只是層狀雲系；唯一例外是在經向—時間序列中，標示於 7 月 1 日 1200 至 1500 UTC、121.6°E 附近的 B (圖 3)，其次數累計達 5000 次以上，但在與緯向—時間序列比對後，這些落雷十分集中分布於台灣東北部附近（25.2°N，圖 4），其出現的位置並不在本文所探討範圍內，所以在本文中暫不加以探討。

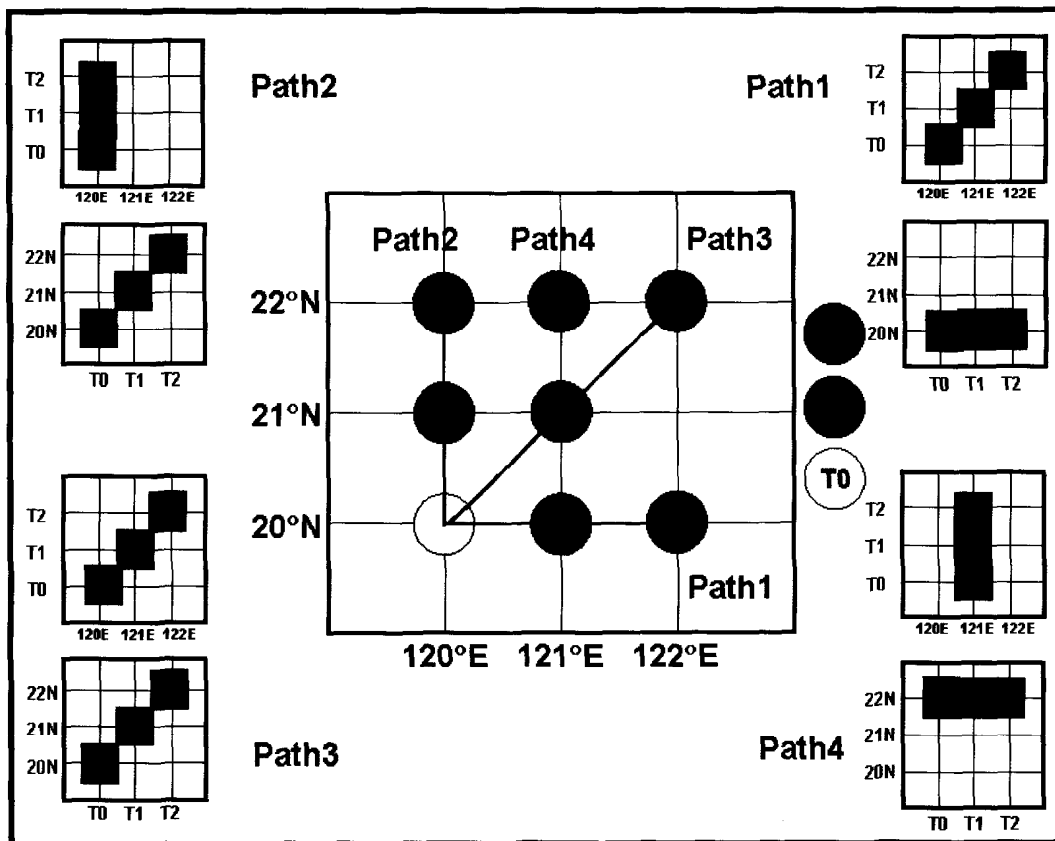


圖 2 落雷區域（紅色方塊）移動路徑，與經向或緯向落雷紀錄時間序列相關性之示意。其中淺藍色為落雷初始（T0）位置，亮綠色為落雷在一時間（T1）之後的位置，暗綠色為落雷在二時間（T2）之後的位置；箭頭為落雷區域移動方向；Path 4 表示落雷區域滯留。

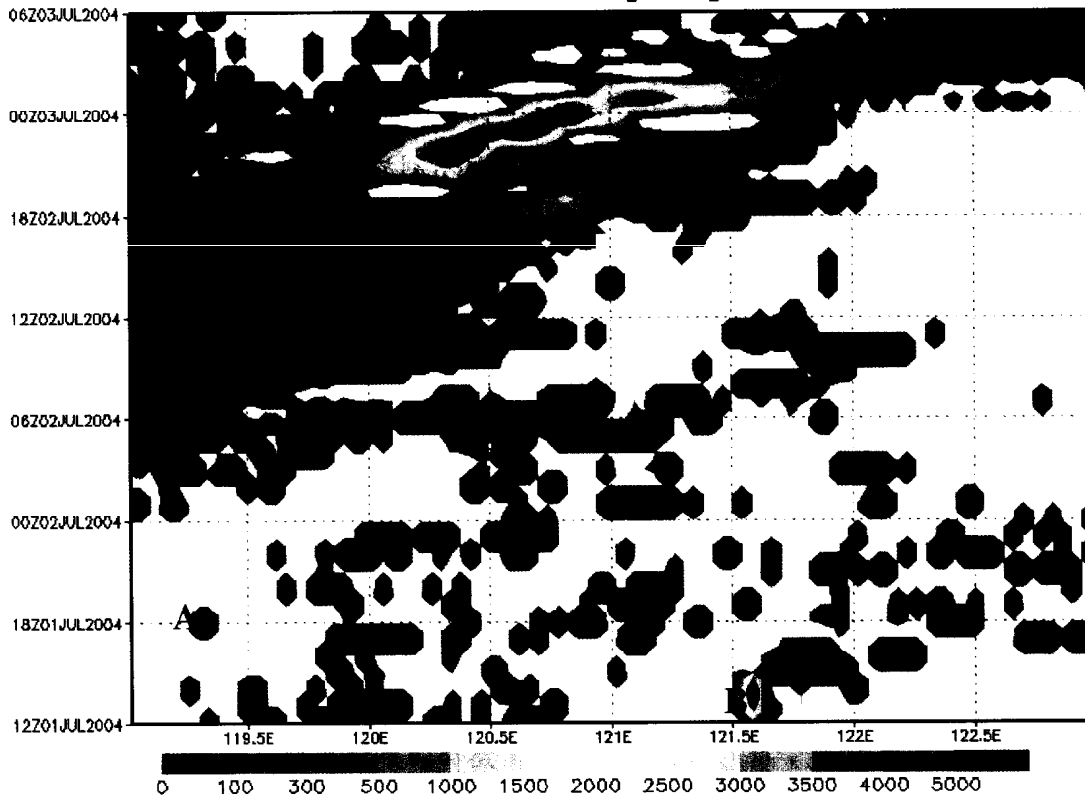


圖 3 7 月 1 日 1200 UTC 至 7 月 3 日 0600 UTC，落雷次數之經向—時間序列。
其中色階為落雷次數。

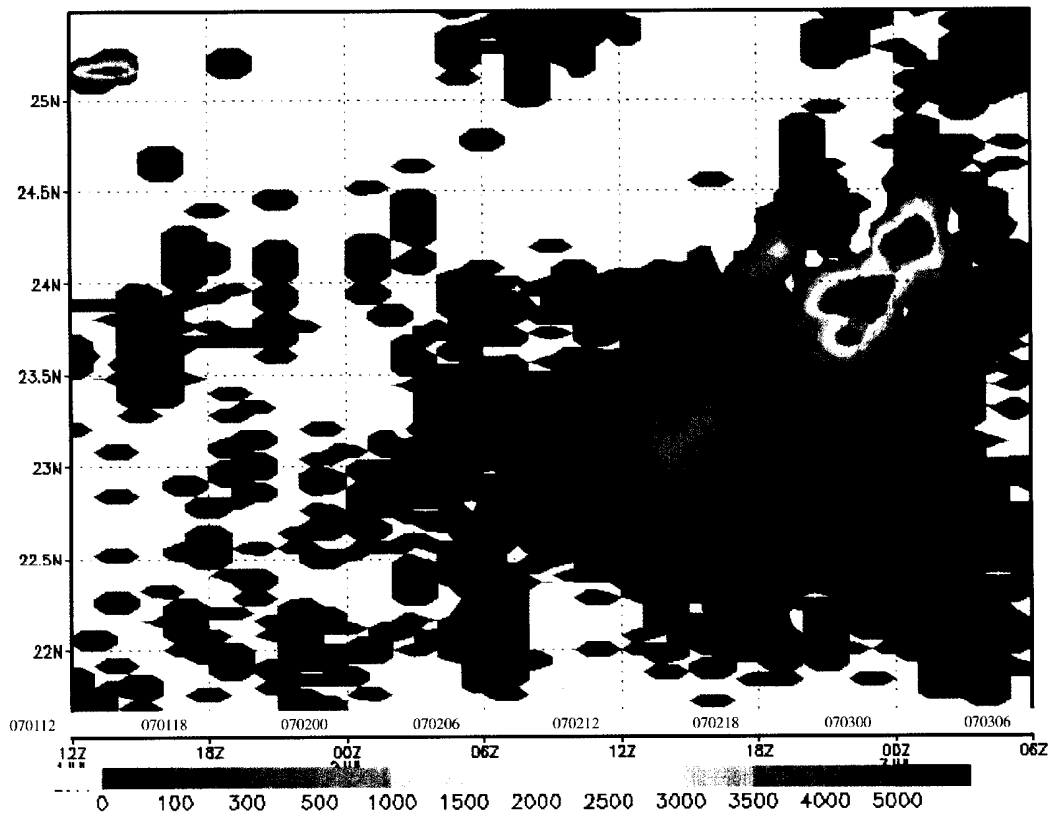


圖 4 同圖 3，但為緯向—時間序列。

三、降雨階段

在 7 月 2 日 0600 UTC 以前，台灣附近幾乎完全沒有任何具時、空間連續性的落雷紀錄出現，所有落雷紀錄的強度及時、空間分布，都呈現與前一節敘述的 A 類似的特徵，而且時雨量也是在颱風快要從北部出海時才逐漸變的明顯（前文圖 5、6），可見在 7 月 2 日 0600 UTC 以前，造成降雨的對流發展並不十分深厚，這和 7 月 2 日 0000 UTC 時，在台灣海峽南部與台灣西南部陸地之間，所觀測到的東西向颱風外圍環流雨帶回波發展特徵（前文圖 10），以及中南部從 7 月 1 日 2000 UTC 起，至 7 月 2 日 0600 UTC 間的累積雨量特徵（前文圖 5、6）吻合。因此前文定義個案的第一個降雨階段，主因為颱風外圍雨帶的發展與接近，應屬合理的推論。

7 月 2 日 0600 UTC 後，較頻繁（在定義的時空範圍內出現 100 次以上）的落雷開始出現（圖 3），比對緯向—時間序列（圖 4），這些落雷集中分布於台灣海峽南部附近（ 23.0°N 、 119.0°E ），且傾向於在原地滯留（路徑類似圖 2 的 path 4）；7 月 2 日 0900 UTC

時，除了雲頂溫度及範圍已滿足 MCC 的定義（前文圖 8）外，落雷頻率也增加到 300 至 500 次（圖 4）；1400 UTC 以後，高頻率落雷（500 至 1000 次）轉向東北方發展（路徑類似圖 2 的 path 3）；7 月 2 日 2100 UTC 至 7 月 3 日 0200 UTC，落雷頻率突然增加到超過 5000 次，並影響到台灣中南部陸地（ 23.5°N 、 120.0°E 至 121.5°E ），旺盛的深對流雲頂亮溫分別下降到 205 至 200K（前文圖 8），但並未越過中央山脈。

因此不論經向（圖 3）或緯向—時間序列（圖 4），均顯示這段期間的高頻率落雷在時、空間上均具連續性；由於高頻率的落雷持續超過十五小時，且分佈位置是由海面上向東移向陸地，於是造成沿海與內陸雨量相近的重要特徵，除極端值之外，沿海與內陸普遍出現二至三百毫米的累積雨量（前文圖 13）；7 月 3 日 0200 UTC 起，落雷頻率及地面時雨量均迅速減弱，所以定義自 7 月 2 日 0900 UTC 起，至 7 月 3 日 0200 UTC 止，MCC 自海面移向陸地並發展，為個案的第二個降雨階段。

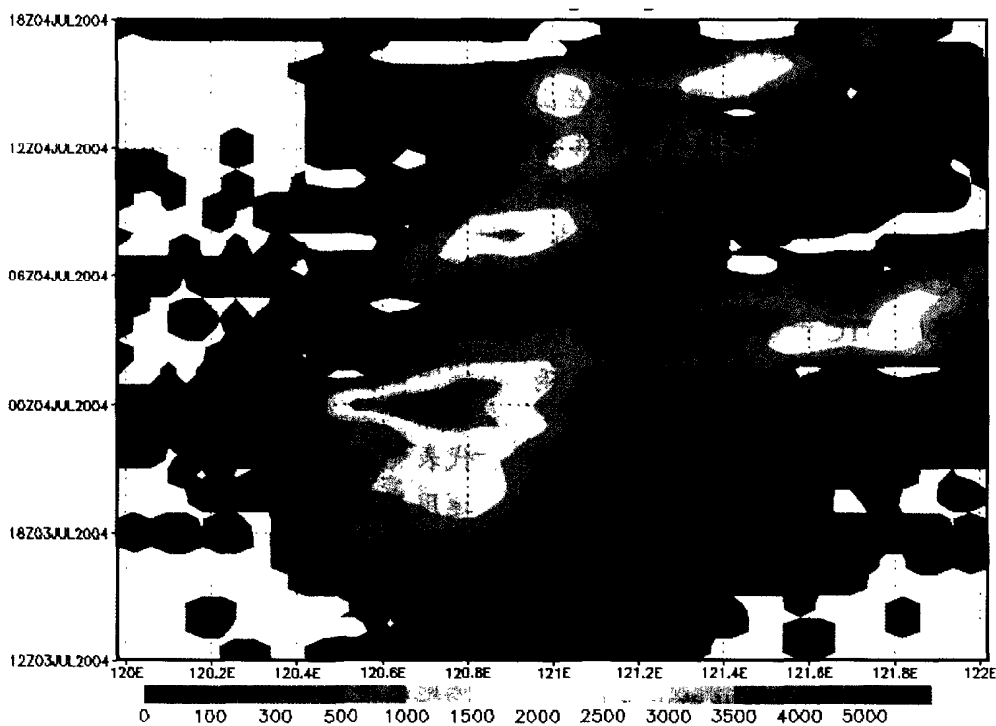


圖 5 同圖 3，但為 7 月 3 日 1200 UTC 至 7 月 4 日 1800 UTC。

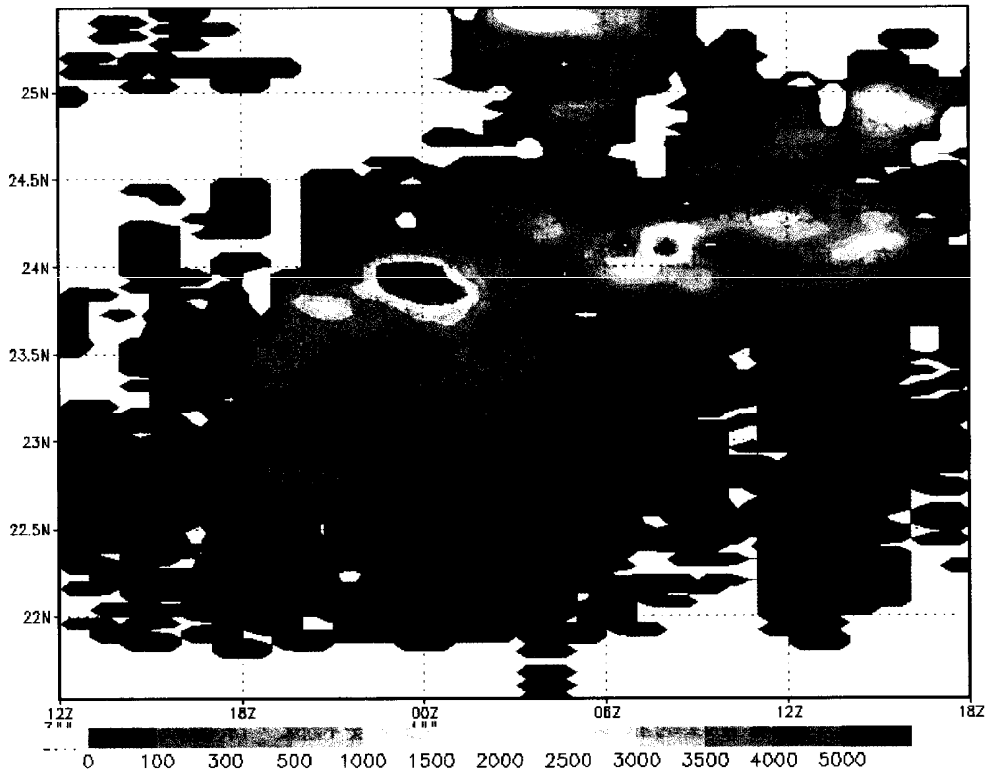


圖 6 同圖 4，但為緯向-時間序列。

自 7 月 3 日 1600 UTC 起，較頻繁（100 次以上）的落雷又再出現，且持續發生至 7 月 4 日 1500 UTC（圖 5），比對緯向-時間序列（圖 6），則此頻繁的落雷區域，整體行為呈現近似滯留特性（路徑均類似圖 2 的 path 4）且始終都僅在山脈西側內陸（120.4 至 121.2 °E）出現，即現階段的落雷紀錄是在山脈西側內陸新生的，同時台灣海峽北部落雷頻率大都在 100 次以下，此特徵顯示由於前一階段之 MCC 此時已減弱消失，對流並非自海面上移入，而是在當地發展的；又 7 月 4 日 0000 及 0800 UTC 前後，先後出現兩次高頻率落雷（分別超過 5000 及 3000 次），兩次高頻率落雷之間約有 0.5 °N 的差別（圖 6），顯示對流在中央山脈西側略有由南向北發展的趨勢。

對流在中央山脈西側陸地發展的結果，使累積雨量集中於內陸，極端值超過九百毫米，沿海地區降雨十分不明顯，累積雨量普遍不及 30 毫米（前文圖 14）。故前文之推論，

在 7 月 4 日 1500 UTC 之前，第三個降雨階段是肇因於西南氣流受地形舉升所致，亦應為合理推論。

四、結論與未來展望

為什麼區分以上的降雨階段是必要的？我們認為，基礎成份指數固然能幫助預報員直接預期地形降雨「會不會發生」以及「有多強」，但預報的使用者更需要根據「過程」與「形式」來評估風險，進而在適當的時機調整決策。以本個案而言，豪雨雖然果真如基礎成份指數所預期的發生，但事實上在不同階段裡，豪雨的原因與位置迥異。尤其降雨是天氣過程的綜合結果，能預期結果並不代表能在事前掌握瞬變的過程。換言之，在運用基礎成份指數評估颱風過後西南氣流引發局部豪雨的潛勢時，我們建議同時要十分留意降雨的變動性。

在第二個降雨階段中，落雷頻率在進入陸地之後突然增加，高頻率落雷區域並沒有越過中央山脈，以及降雨集中在山脈西側，

山脈東側雨量稀少，均突顯地形在此階段的重要性；又同樣在西南氣流環境下，為何第二階段的對流是自海面移向陸地並發展，而在第三階段裡的對流卻是在陸地上發展？或換個方式問，究竟什麼樣的西南氣流環境會夾帶 MCS 或 MCC，什麼情況下西南氣流只會在迎風面形成對流？以上問題均值得在釐清降雨階段之後深入討論。

本文目的在於利用落雷資料，加強前文對敏督利颱風降雨階段的詮釋，其重要性以一個示意圖（圖 7）做註解。圖中三角形的三個頂點 A、B 及 C 各自代表地形、西南氣流與 MCC 在個案中所扮演的角色，三邊 \overline{AB} 、 \overline{AC} 與 \overline{BC} 則分別代表西南氣流與地形、MCC 與地形、及 MCC 與西南氣流之間的關係；其中虛線強調西南氣流與 MCC 的因果關係並不十分明確。第三個降雨階段就是 \overline{AB} 過程；第二個降雨階段雖是 MCC 在主導，但其特徵卻是 \overline{AC} 過程的結果；第二、三個降雨階段間的差別，則涵蓋在 \overline{BC} 過程中。 \overline{AB} 已是基礎成份指數所強調過的概念，但 \overline{AC} 與 \overline{BC} 則有相當的複雜性，並且已於文中分別敘述，以本文所使用的資料，能討論的深度有限，未來可以透過重分析資料，或中尺度數值模擬等深入探討。

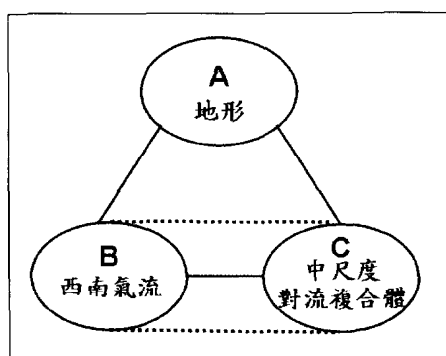


圖 7 個案降雨階段與環境關係示意。

參考文獻

- 顏自雄、戴志輝、鳳錦輝、莊閔翔，2005：敏督利颱風登陸後中南部豪雨的三個降雨階段。《氣象預報與分析》，182，25-34。
- Chiao, S., and Y. L. Lin, 2003: Numerical modeling of an orographically enhanced precipitation event associated with tropical storm Rachel over Taiwan. *Wea. Forecasting*, 18, 325-344.
- Doswell, C. A., H. Brooks, and R. Maddox, 1996: Flash flood forecasting: An ingredient - based methodology. *Wea. Forecasting*, 11, 560-581.
- Houze, R. A., Jr., 2004: Mesoscale convective systems. Submitted to *Reviews of Geophysics*.
- 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.
- 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.