

敏督利颱風(2004)過後對台灣中南部地區造成豪大雨之個案探討

李紀恩¹ 呂木村² 林裕豐² 林得恩²空軍氣象聯隊¹空軍氣象聯隊氣象中心²

摘要

天氣突變與飛航任務遂行之間存在著密不可分的關係，劇烈天氣的反應不但影響到飛航的調度、飛行的舒適，甚至常會因此而造成飛安的衝擊。因此，如何有效且即時地掌握天氣突變發生的時間、頻率以及變化，已是我現階段確保飛安的重要議題。在本文中利用美國國家環境預報中心(NCEP)之 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 基本網格分析資料，探討敏督利颱風過後台灣鄰近地區綜觀環境特徵及造成台灣中南部地區出現持續性豪大雨劇烈天氣的主要機制，藉由綜觀環境的分析以提供我們對於天氣突變有更進一步的瞭解與認識。由初步的分析結果顯示，敏督利颱風逐漸遠離期間，南海地區大氣環境提供對流系統發展的有利條件，促使對流運動不斷的在南海地區生成與發展。而這些對流雲系受颱風遠離後引進西南氣流的傳送，持續的朝台灣中南部地區移入，並在中央山脈地形舉升的雙重效應下，使得水氣能夠在迎風面前迅速的堆積與凝結，以致於造成台灣中南部地區 7 月 2 日至 4 日期間出現持續性豪大雨之災變天氣。

關鍵詞：天氣突變、西南氣流、舉升效應

一. 前言

天氣突變與飛航任務遂行之間存在著密不可分的關係，劇烈天氣的反應不但影響到飛航的調度、飛行的舒適，甚至常會因此而造成飛安的衝擊；影響我飛航安全的氣象因素，除積冰、亂流(林，2004)、低能見度、低雲幕、低層風切等外(劉，1995)，颱風也是造成台灣地區最嚴重的災變天氣之一，平均而言每年約有 3 至 4 個颱風侵襲台灣，所造成社會成本的損失估計至少數十億元。而颱風所伴隨的豪雨，導致山洪爆發、土石流及淹水等災害，更是直接威脅到人民財產損失與生命的安全。有鑑於此，學術界及作業單位，紛紛投入大量的心力從事颱風議題的相關研究，例如 Brand and Brelloch(1974)、Wang(1980)、Chang(1982) and Shieh et al.(1996)等，這些研究論文對於瞭解颱風的運動及結構均有非常卓越的貢獻。

至於對飛安所造成的影響，包括強風、豪雨所引發航空器的破壞、機場淹水、機場附近建築物受損等，影響層面及影響程度相當重大；因此，如何有效且及時地掌握天氣突變發生的時間、頻率以及變化，已是我現階段確保飛安的重要議題。然而在過去的研究中，以討論颱風降水的文章大多著重在路徑與降水或是結構與降水的關係，少有研究颱風過後所引進之西南氣流帶來豪大雨的災害。而 2004 年敏督利(Mindulle)颱風侵台過後，於 7 月 2 日至 7 月 4 日期間，持續性的豪雨重創中南部地區，其所帶來的災損卻原比颱風本身引發的強風豪雨來的嚴重。因此本文將針對 7 月 2 日至 7 月 4 日期間，敏督利颱風逐漸遠離台灣後，中南部地區持續性豪大雨個案的初步分析與探討。

二. 綜觀環境概述

敏督利颱風於 6 月 23 日在關島西北方海面生成，以偏西的方向移動，6 月 30 日於呂宋島東北海面上轉北朝台灣東部移動，並於 7 月 1 日 1400UTC 在花蓮市南方登陸，次日上午由淡水附近進入台灣海峽，隨後以北北西的方向進入東海，7 月 4 日變性為溫帶氣旋(圖 1 為敏督利颱風路徑圖)。

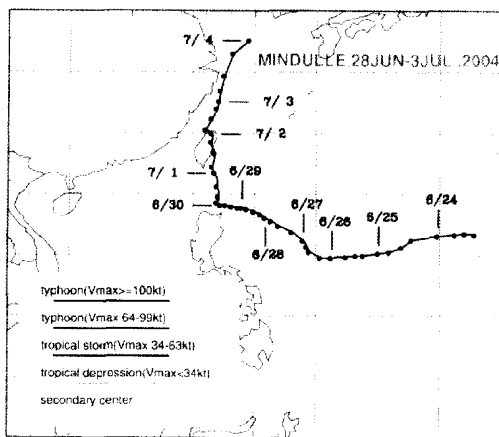


圖 1 敏督利颱風路徑圖(資料來自於中央氣象局網頁)。

由敏督利颱風侵台至遠離期間各地日累積雨量(圖 2)顯示，東部地區(台東、花蓮)出現最大的累積雨量是發生在 7 月 1 日，當日颱風接近東部地區並在花蓮登陸，其降水仍由颱風環流所導致。自 7 月 2 日起，由於颱風逐漸遠離台灣，東部地區累積降雨量逐漸減少，但從圖中可以發現中南部地區的累積雨量卻明顯增加，尤其阿里山連續三日(7 月 2 日至 4 日)的日累積降雨量均達 550mm 以上，台中及嘉義亦有連續二天日累積雨達 220mm 以上。而自 7 月 4 日以後，各地的日累積降雨量均明顯減少(除阿里山在 7 月 4 日仍有 553.5mm 的累積雨量)。

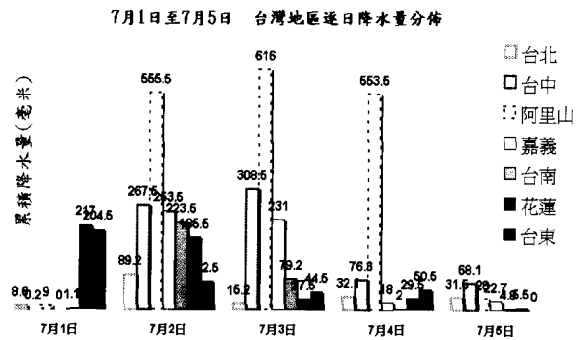


圖 2 7 月 1 日至 7 月 5 日 台灣地區逐日累積雨量分佈圖。

由 7 月 1 日 0600UTC 至 7 月 3 日 0600UTC 每六小時連續的 IR 雲圖(圖 3)可以發現，敏督利颱風侵台至遠離期間，南海地區持續有中小尺度之對流系統發展。7 月 1 日 1200UTC 在南海地區開始有一對流雲系生成(圖 3b 虛線框示區)，隨後並持續增強發展，當其發展達成熟階段後有逐漸減弱趨勢，但隨之而來的卻又是另一對流雲系再度形成(圖 3f 虛線框示區)及增強發展，且對流雲系受颱風所伴隨之西南氣流牽引而朝台灣地區移入。此乃導致台灣中南部地區降下持續性豪大兩天氣的關鍵要素之一。而其中究竟什麼樣的機制造成南海地區大氣環境條件有利於對流運動不斷的生成並持續發展?在下一節中，將會針對海峽南部及南海地區大氣環境條件做進一步之分析及探討。

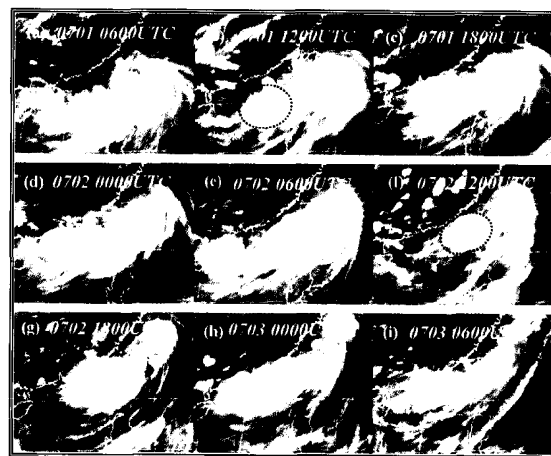


圖 3 (a)至(i)為 7 月 1 日 0600UTC 至 7 月 3 日 0600UTC 每六小時連續之 IR 雲圖。

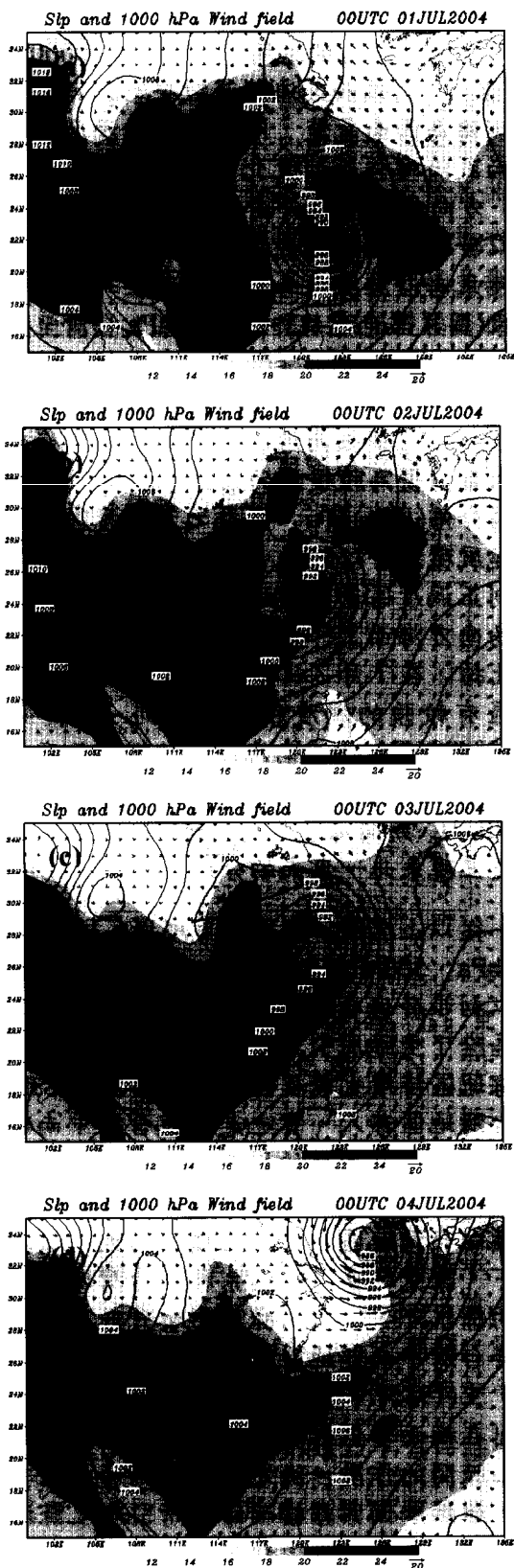


圖 4 (a)至(d)為 7 月 1 日至 7 月 4 日 0000UTC 之海平面氣壓(等值線間距為 2hPa)、1000hPa 的風場及比溼(陰影部份, 單位為 $g\ kg^{-1}$)。

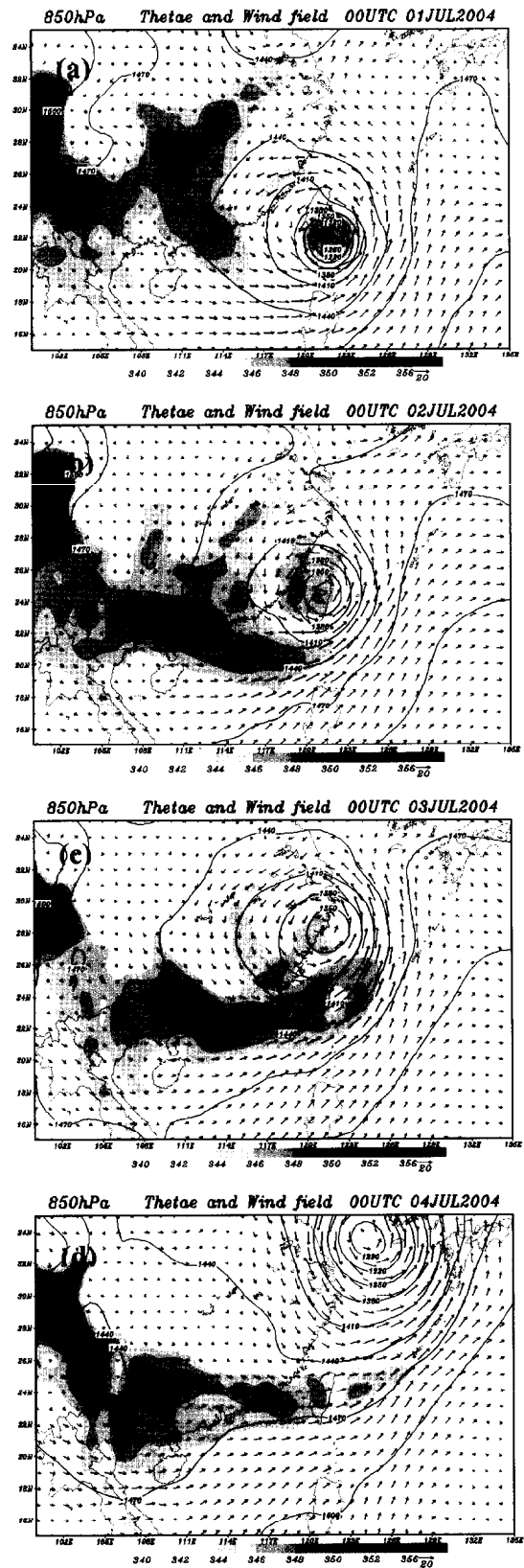


圖 5 (a)至(d)為 7 月 1 日至 7 月 4 日 0000UTC 850hPa 的風場、高度場及相當位溫(陰影部份, 單位為 K)。

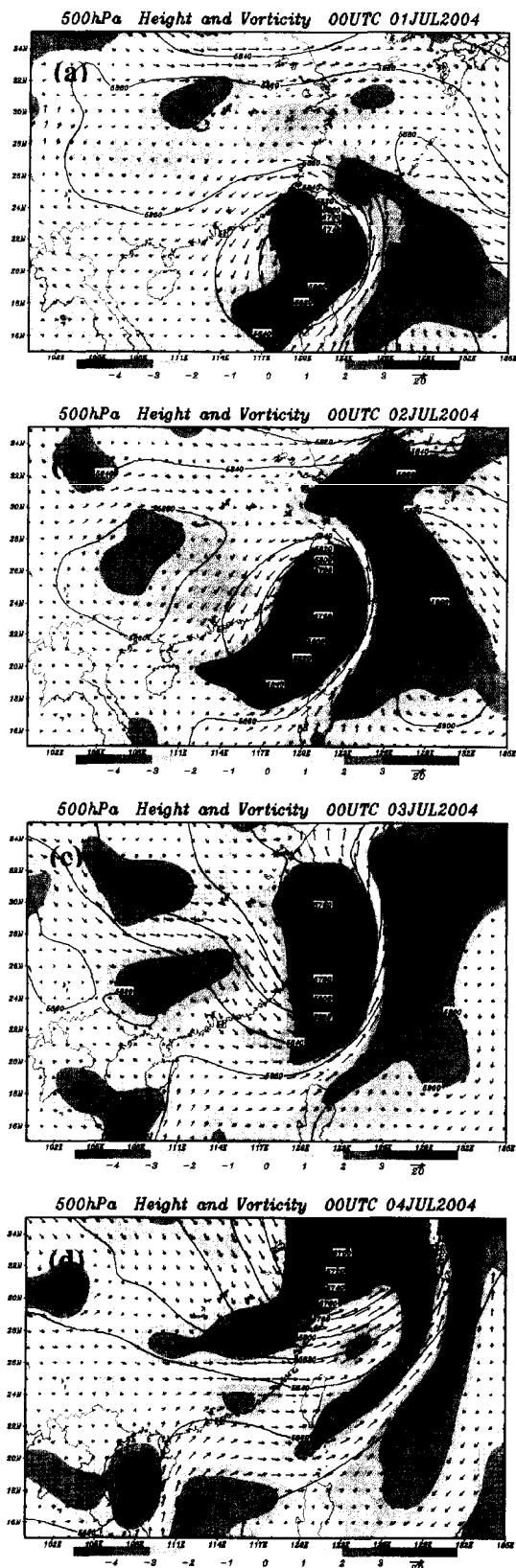


圖 6 (a)至(d)分別為 7 月 1 日至 7 月 4 日 0000UTC 之 500hPa 風場、高度場及渦度場(陰影部份, 單位為 $10^{-5} s^{-1}$)分佈。

另外從 1000hPa 風場及溼度場分佈(圖 4)顯示, 南海地區的風場由 7 月 1 日 0000UTC 時(圖 4a)的偏西氣流隨著敏督利颱風北抬而逐漸轉為西南氣流, 同時較高的溼度區也隨西南氣流增強而朝東北(海峽及台灣南部地區)方向移動; 另外由海平面氣壓場及風場可以發現, 此期間自海峽南部向西南延伸經大陸東南沿海至海南島附近存在一帶狀輻合現象(圖 4 黑色虛線)。而 850hPa 台灣至南海地區, 風場(圖 5)亦呈現隨颱風北抬而轉變為西南氣流, 且颱風引進之西南氣流也將較高的相當位溫帶往南海及台灣地區, 使得此地區大氣轉變為較暖溼的秉性。由 500hPa 的渦度場分佈(圖 6)顯示, 最強之正渦度區乃伴隨在颱風環流中心附近, 但從圖 6 可以清楚的看到正渦度區是由颱風中心向西向延伸至海南島南方海面上, 並隨著颱風朝北移動而跟著北抬, 在 7 月 2 日 0000UTC(圖 6b), 南海地區有較強的渦度移入, 直到 7 月 4 日 0000UTC(圖 6d), 南海地區的渦度強度始有明顯減弱。7 月 2 日 0000UTC 至 7 月 4 日 0000UTC 期間海峽至南海地區 300hPa 風場則是呈現東北、東南的分流現象(圖略)。

從以上雲圖、海平面氣壓場、1000hPa、850hPa、500hPa 及 300hPa 綜觀環境分析, 可以初步發現在敏督利颱風遠離期間, 台灣地區除了受颱風引進之西南氣流影響外, 在南海地區持續生成及發展的對流雲系不斷的朝台灣地區移入, 實也是造成台灣中南部地區豪大雨天氣主要的因素之一。而受到西南氣流的影響, 使得南海地區充足的水氣得以持續向台灣地區輸送。在這樣的大氣環境條件下, 除受旺盛對流雲系移入台灣地區所造成的降水外, 中央山脈地形舉升效應, 也是激發台灣中南部地區對流降水的另一個重要因素。王(1985)、陳與楊(1988)、陳(1994)等均指出在梅雨季低對流層內盛行西南氣流與中央山脈間的作用, 決定了豪大雨發生之重要性, 雖然本個案非梅雨鋒面所引起之降水, 但由綜觀環境分析, 部份特徵卻有類似梅雨鋒面的特性, 因此地形效應及低對流層內之西南氣流在本次中南部地豪大雨個案中確實也扮演了非常重要的因素。

三. 分析結果與討論

在本次中南部豪大兩個案中，南海地區的大氣環境提供了中小尺度對流系統發展之有利條件，此對流活動持續的生成發展並移入台灣地區，對於台灣地區的降水有很大的貢獻。因此在本小節中，我們將分析並探討南海地區的大氣環境特性，試著找出是何種機制造成對流雲系持續的生成及發展。在此我們將南海地區分為區域 I 及區域 II (圖 7)，目的是要區別這兩個區域內大氣結構及分析水氣傳輸的差異。

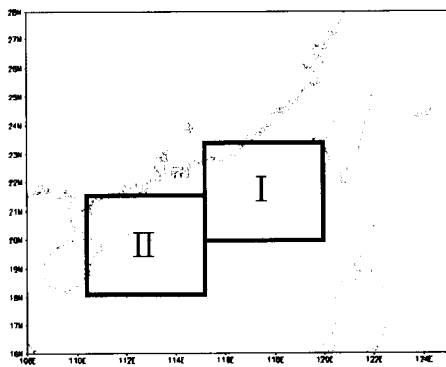


圖 7 區域 I (東經 115°E ~ 120°E，北緯 20°N ~ 24°N) 及區域 II (東經 110°E ~ 115°E，北緯 18°N ~ 22°N) 示意圖。

(一). 大氣穩定度及 CAPE 值分析

由位溫(θ)及相當位溫(θ_e)的在區域 I 及區域 II 平均的垂直剖面(圖 8)顯示，7 月 2 日 0000UTC 至 7 月 3 日 0000UTC 期間，區域 I 及區域 II 700hPa 以下 θ_e 隨高度增加而減小($\frac{\partial \theta_e}{\partial z} < 0$)，顯示在 700hPa 以下為一條件性不穩定大氣，且低層 θ_e 值均明顯偏高，以 1000hPa 為例，兩區域內平均 θ_e 值均有達到 360°K 以上，此也顯示出低層大氣具有一暖濕的特性。另外由區域內平均之對流可應用位能(CAPE)隨時間的分佈(圖 9)顯示，區域 I

平均之 CAPE 值由 7 月 1 日 0000UTC 的 1042 Jkg^{-1} 隨時間迅速的增加至 7 月 2 日 1200UTC 的 2617 Jkg^{-1} ，之後至 7 月 4 日 1200UTC 以前並無明顯的變化；而區域 II 在 7 月 2 日 1200UTC 之前 CAPE 值均明顯高出區域 I 許多，但隨後 CAPE 值大致相近於區域 I。由 CAPE 值隨時間的分佈，顯示出此期間內區域 I 及區域 II 大氣均存在較多之可應用位能，此亦是提供大氣對流運動發展之主要能量來源。

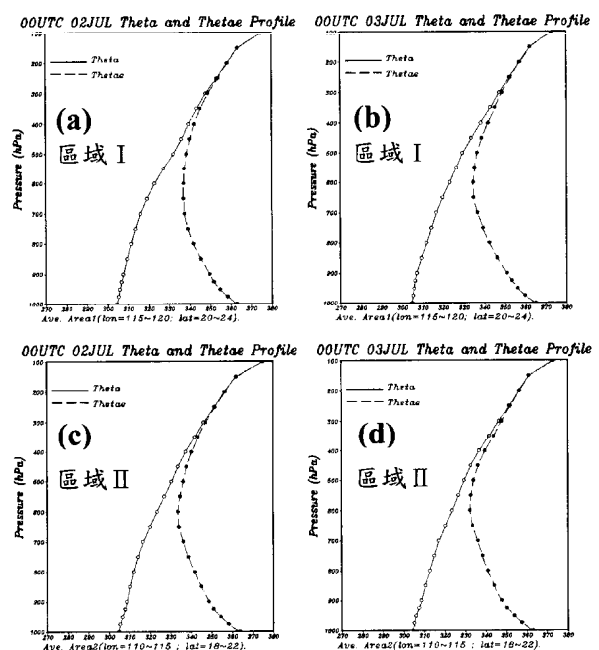


圖 8 區域 I (a、b) 及區域 II (c、d) 位溫(θ) 與相當位溫(θ_e) 平均的垂直分佈(實線為位溫；虛線為相當位溫，單位為 K)。

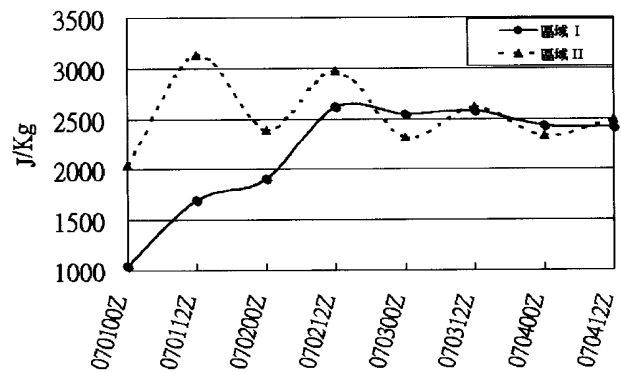


圖 9 7 月 1 日至 4 日 0000UTC 期間區域 I (實線) 及區域 II (虛線) 內平均之對流可應用位能(CAPE) 變化情形。

(二). 渦度及輻散場之探討

圖 10 及圖 11 分別為 7 月 1 日至 4 日 0000UTC 區域 I、II 內平均輻散(實線)及渦度(虛線)場之垂直結構。從圖 10 可以清楚發現, 7 月 1 日至 3 日區域 I 內渦度場從低層至高層均呈現一正渦度, 渦度以 7 月 2 日 0000UTC(圖 10b)最強, 同時低層亦出現最大之輻合現象, 此時乃最有利對流運動發展之條件。在 7 月 4 日 0000UTC, 雖低層 800hPa 以下仍維持一正渦度, 但其值已明顯減小(圖 10d), 且在 800hPa 以上已轉變為負渦度, 同時原本之輻合場也轉變為輻散場, 顯示環境已不再有利對流運動之發展。相較於圖 11 可以發現, 同時間區域 II 之渦度均較區域 I 小, 且輻合現象僅發生在低層(950hPa 附近), 其輻合之強度亦相對較弱, 另外高層的輻合現象則較不明顯。由以上渦度及輻散場的分析大致可以發現, 區域 I 的環境條件是相對較有利於對流運動的生成及發展。

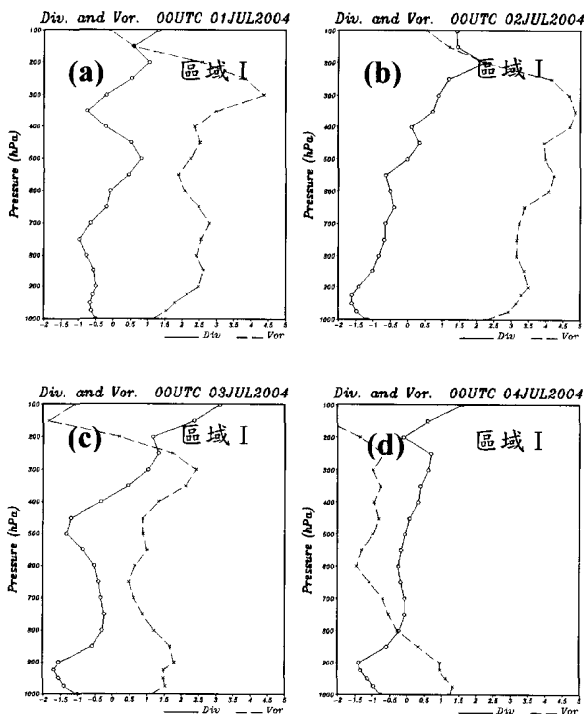


圖 10 區域 I 平均渦度(實線)及輻散(虛線)場的垂直分佈情形(渦度及輻散之單位為 $10^{-5} s^{-1}$)。

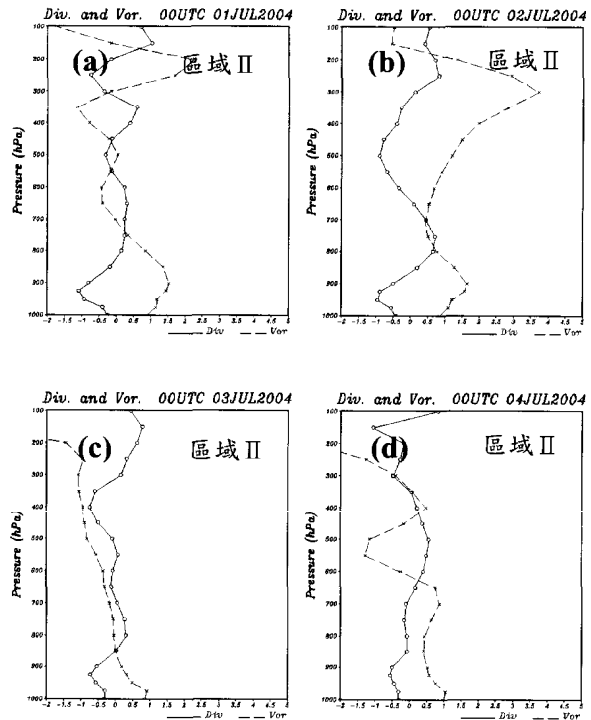


圖 11 同圖 10, 但為區域 II 之情形。

(三). 水氣場分析

由 925hPa 水氣輻散場($\nabla \cdot q\vec{v}$)的分佈(圖 12)顯示, 7 月 1 日 0000UTC(圖 12a), 最大之水氣輻合位於台灣東南部外海(即位於颱風中心附近有最大之水氣輻合), 其後隨著颱風逐漸北抬影響, 使得較強的水氣輻合帶亦跟著偏北移動。7 月 2 日 0000UTC(圖 12b), 最大之水氣輻合發生在台灣中南部附近, 此時正是中南部地區開始出現較大雨勢的時間(如圖 2), 這樣的現象間接的說明台灣中南部地區的降水與水氣在此區輻合有很大的相關。然而 7 月 3 日至 4 日 0000UTC(圖 12c、d), 由於颱風逐漸遠離台灣地區, 原位於台灣中南部地區較強的水氣輻合現象已明顯減弱, 但仍可看到在台灣海峽南部至南海帶仍有一明顯的水氣輻合存在, 但其強度已減弱許多。另外由區域 I、II 內平均水氣輻散場垂直分佈(圖 13)顯示, 7 月 1 日至 4 日 0000UTC 兩地區最大之水氣通量輻合均發生於低層(約 900hPa 至 975hPa 左右)。但比

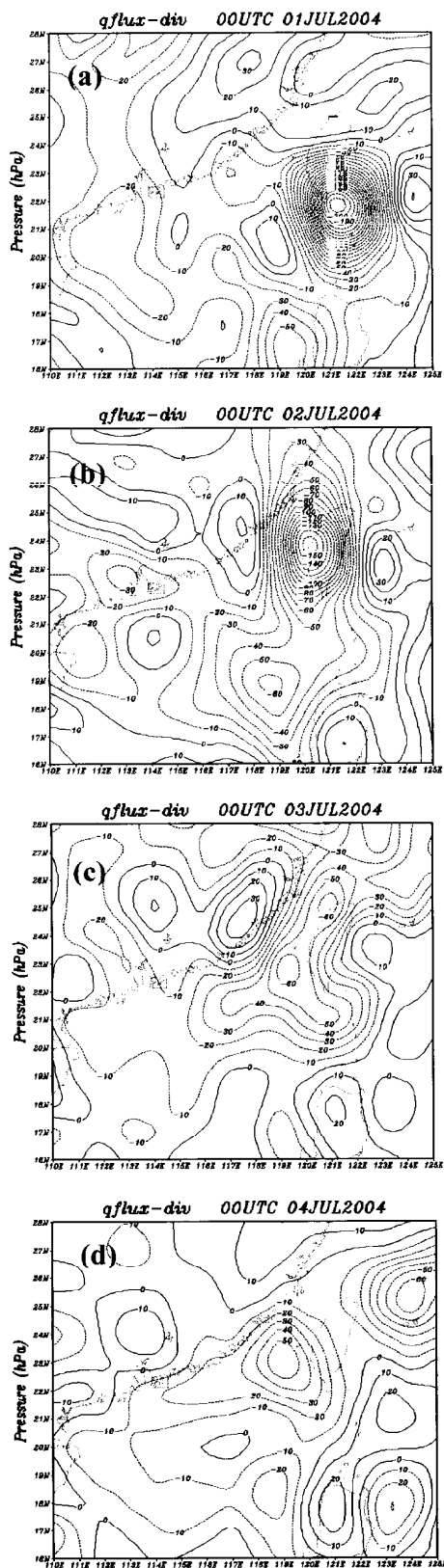


圖 12 (a)至(d)為 7 月 1 日至 4 日 0000UTC 之 925 hPa 水氣輻散場分佈(單位為 $10^{-8} g kg^{-1} s^{-1}$)。

較區域 I 及區域 II 內的水氣通量輻合的變化發現，7 月 2 日 0000UTC(圖 13b)區域 I 低層水氣輻合有明顯增強，7 月 4 日 0000UTC(圖 13d)始有明顯的減弱，但區域 II 內的水氣輻合的變化隨時間變化並不大，僅在低層存在一較弱的水氣輻合，除了 7 月 1 日 0000UTC 外，強度均小於區域 I 的值。

由以上區域 I 及區域 II 大氣的環境分析我們可以發現，兩區域內的大氣低層大氣均為一條件不穩定的環境，CAPE 值均明顯偏高，但由輻散、渦度及水氣輻散場的垂直結構發現區域 I 內低層有較多的水氣輻合，且渦度及輻合現象均較區域 II 的平均來的強，也因此我們從雲圖(圖 3)可以發現，主要的對流雲系均在區域 I 內生成及發展，顯示區域 I 的環境是較區域 II 有利對流活動的生成及發展。

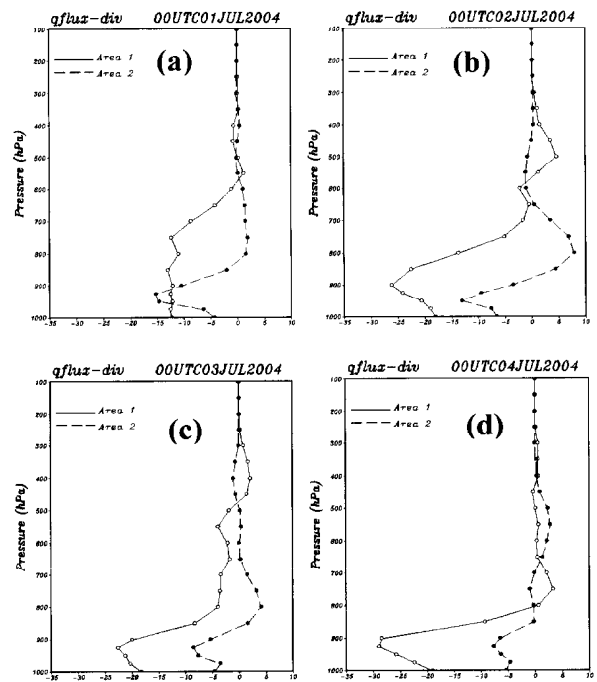


圖 13 (a)至(d)為 7 月 1 日至 4 日 0000UTC 區域 I (黑色實線)及區域 II (綠色實線)水氣輻散場垂直分佈(單位為 $10^{-8} g kg^{-1} s^{-1}$)。

(四). 伴隨中尺度對流系統之結構分析

由於南海地區不斷有對流系統生成及發展，因此在本小節中將探討對流運動的發展結構。圖 14 為 7 月 2 日 1200UTC 發生於南海地區之對流系統。我們斜切圖中 A 點至 B 點的垂直剖面以探討對流系統的垂直結構分佈情形。

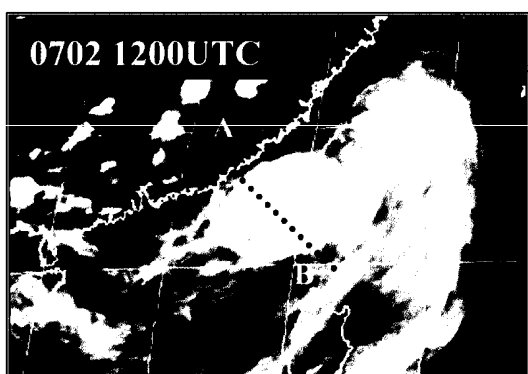


圖 14 7 月 2 日 1200UTC 紅外線雲圖，A 點 (110°E, 25°N) 至 B 點 (122°E, 20°N) 為橫切對流系統之斜面。

由相當位溫(圖 15a)的垂直分佈可以發現，在 700hPa 以下相當位溫隨高度迅速遞減，且梯度相當大，顯示低層大氣為一條件性不穩定的大氣環境。另外由垂直速度場的剖面(圖 15b)則顯示，在東經 117 度 850hPa 的高度上有一較強的上升速度，且較強之上升運動有隨高度向右傾斜分佈的現象，另外在上升運動區的兩側為下沉運動，較大的下沉運動分別出現在東經 120 及 113 度約 700hPa 的高度處。而由輻散場的分佈(圖 15c)亦可發現在東經 117 度低層(約 925hPa 附近)有一較強的輻合現象存在，兩側則為氣流之輻散，高層約 500hPa 附近則有另一較強之輻合現象存在。而最大之渦度是出現在東經 120 度 550hPa 的高度處(圖 15d)。從以上的剖面分析可以瞭解此對流系統發展時低層至高層的垂直偶合相當完整，環境條件提供了對流更為有利的發展機制。

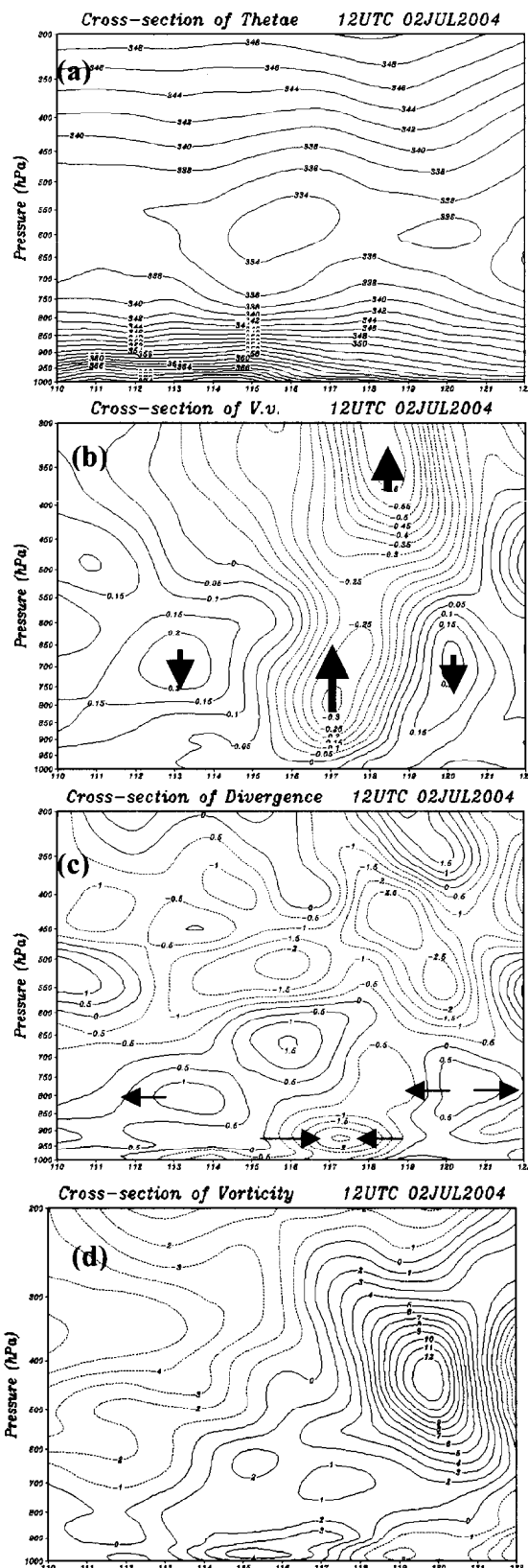


圖 15 (a)至(d)分別為 7 月 2 日 1200UTC 時 A 至 B 點剖面之相當位溫(K)、垂垂直速 (pas^{-1})、輻散($10^{-5} s^{-1}$)及渦度 $10^{-5} s^{-1}$)場之垂直結構。

四. 結論

根據氣候統計結果顯示台灣地區每年都有 3 至 4 個颱風侵台，颱風帶來的強風及豪雨更直接威脅人民的生命安全。2004 年敏督利颱風侵台期間颱風主體強風及豪雨並未直接對台灣地區帶來嚴重的災損，但就在颱風暴風圈逐漸遠離後，人民失去對於颱風的警戒心，認為颱風遠離後強風及豪雨天氣的影響將不構成威脅。始料未及的卻是颱風過後引進旺盛之西南氣流，持續性的豪大雨天氣重創台灣中南部地區，並造成報章媒體引述的『七二水災』。由於過去對於颱風降水的研究大多著墨在颱風路徑及結構方面，較少探討有關颱風過後所造成豪大雨的災變天氣，其中一方面也是因為類似敏督利颱風過後所引起持續性的豪大兩個案並不多見。對於飛安所造成的影響，包括強風、豪雨所引發航空器的破壞、機場淹水、機場附近建築物受損等，影響層面及影響程度相當重大。

因此在本文中利用美國國家環境預報中心(NCEP)之 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 基本網格分析資料，探討敏督利颱風過後台灣鄰近地區綜觀環境特徵及造成台灣中南部地區出現持續性豪大雨的主要機制。由初步的分析結果顯示，造成此次台灣中南部地區豪大雨之天氣因可歸納為以下過程：(一)颱風逐漸遠離期間，南海地區低層大氣為一暖濕且為條件性不穩定的環境，且大氣中的對流可應用位能(CAPE)偏高。另外低層自海峽南部向西南延伸經大陸東南沿至海南島附近有一明顯的帶狀輻合，水氣在低層有較強的輻合現象。由大氣垂直結構的分析，我們發現海峽南部至南海一帶，大氣環境條件促使中小尺度對流系統持續形成及發展。(二)由於南海地區不斷的有對流雲系生成及發展，此時配合颱風遠離引進的西南氣流將形成於南海地區之對系統傳送至台灣地區。(三)在西南氣流提供大量水

氣的傳過程中，受中央山脈地形的舉升及對流雲系不斷的由南海地區移入的雙重效應下，使得水氣能夠迅速的堆積與凝結。由於以上因素的相輔作用，以致於形成台灣中南部地區出現持續性豪大雨天氣。

經由各項的探討與分析，我們瞭解敏督利颱風遠離期間大氣環境特徵及台灣中南部地區降水的主要機制。藉由此個案分析，提供氣象預報人員對於突變天氣的瞭解與掌握，以期能夠有效且即時的提出突變天氣之預警，使飛航任務及飛航調度能夠順利遂行，並確保飛航安全；除此之外亦能夠給予社會大眾更為準確的氣象資訊，以及早做好防災工作，將各項危害及災害降到最低。

致 謝

感謝中央氣象局在資料上的提供及空軍氣象中心資訊設備與各項資料運算上的支援。

參考文獻

- 王時鼎、鄭俠、徐晉淮與丘台光，1985：五、六月間台灣地區暴雨之環境條件。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，55-77。
- 林得恩，2004；積冰與亂流-飛航安全的隱形殺手，空軍學術月刊，570，76-82。
- 陳泰然與楊進賢，1988：台灣梅雨期豪雨之時空分佈特徵。大氣科學，16，151-162。
- 陳泰然，1994：台灣梅雨季之中尺度現象：中尺度低壓。海峽兩岸天氣與氣候學術研討會論文彙編，中國氣象學會，台北，193-211。
- 劉昭民，1995；低能見度、視障與飛航安全，飛航安全，3，42-45。

- Brand, S., and J. W. Blueloch, 1974: Changes in characteristics of typhoons crossing the island of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 708-713.
- Chang, S. W., 1982: The orographic effects induced by an island mountain range on propagating tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 1255-1270.
- Shieh, S. L., Y. W. Lin, C.D. Chen, and C.Y. Wen, 1995: Study of the characteristics of the precipitation pattern associated with typhoons in the Chia-Nan area (in Chinese). Tech. Rep. NSC83-0414-052-003-B, National Science Council of Taiwan, 95 pp.
- Wu, C. C., and Y. H. Kuo, 1999: Typhoons affecting Taiwan: current understanding and future challenges. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 67-80.
- Wang, S. T., 1980: Prediction of the behavior and strength of typhoons in Taiwan and its vicinity. Res. Rep. 108, National Science Council, Taipei, Taiwan, 100 pp.

The case study of heavy rainfall in Southwestern area of Taiwan after departure of Mindulle typhoon(2004)

Ji-En Li¹, Mu-Tsuen Liu², Yu-Feng Lin², De-En Lin²

*Weather Wing of C.A.F., R.O.C*¹

*Weather Center, Weather Wing of C.A.F., R.O.C*²

Abstract

The relationship between aviation safety and abrupt weather change are highly impartible. Severe weather systems not only influence dispatches of aviation and flying comfort but even impact on aviation safety. How to know the abrupt weather change effectively and immediately is important issue in aviation safety. In this study, the NCEP global analysis grid data were utilized to discuss the synoptic environment characteristics after departure of Mindulle typhoon and the mechanisms of continuous heavy rainfall in southwestern area of Taiwan. The results show that the synoptic provide favorable environment for the development of convective systems in South China Sea during the departure of Mindulle typhoon, resulting in convective system developed continuously in South China Sea. Due to the prevailing of southwest flow increased after departure of Mindulle typhoon, the convective systems excited in South China Sea were moved toward Taiwan's southwestern area and lifted near Center Mountain Range. This result cause continuous heavy rainfall in southwestern area of Taiwan during 2~ 4 July 2004.

Keyword : abrupt weather change, southwest flow, lifted effect