

北行颱風伴隨西南氣流之研究

簡芳菁 楊筑方

國立台灣師範大學地球科學系

(中華民國九十七年十二月十日收稿；中華民國九十八年三月十四日定稿)

摘要

敏督利(Mindulle)颱風於 2004 年 6 月底至 7 月初侵襲台灣。在離開台灣後引進之強烈西南氣流為台灣中南部地區帶來豪雨，驚人的降雨造成了「七二水災」，在全台各地皆有嚴重災情傳出。此次的豪雨主要是由颱風離台北行後，牽引來自南海的潮濕西南氣流所導致。本研究為了解敏督利颱風伴隨如此旺盛西南氣流持續影響台灣地區之原因，除了分析敏督利颱風離台前後，垂直分層的水平風場、重力位高度場、相對濕度及地面降雨量的時序變化，並對 1950 至 2005 年通過台灣北部外海之北行颱風作分類，進行合成平均後，以對照分析的方式探討台灣西南方海域及南海北部存在顯著西南氣流造成豪雨的有利條件包括有：1) 南海及東南亞上空在颱風離台前已蘊含大量潮濕水氣。2) 颱風東側向西南方延伸出呈東北—西南向且密集分佈的等重力位高度線，其間之強西南風速帶隨颱風的北移而向北延伸。3) 颱風強度需較強，離台後移動偏慢，且朝向西北方行進，與華南低壓槽結合，使得台灣至南海北部間之低層西至西南風增強。因為這些有利條件，南海上空的潮濕水氣透過強勁西南風的持續吹送，在台灣西南方及南海北部海域上空產生強西南氣流，並將潮濕水氣傳送至台灣地區，形成豪雨。

關鍵詞：敏督利颱風、西南氣流、豪雨

一、前 言

台灣位於西北太平洋颱風主要移動路徑之上，根據中央氣象局統計，每年平均有 3 到 4 個颱風侵襲台灣，雖為台灣夏秋兩季帶來豐沛的水資源，但往往由於降雨強度過大，產生之豪雨及挾帶之狂風常造成嚴重災情，導致生命財產損失。其中通過台灣北部附近海域之北行颱風若與適當之環境配合，在颱風遠離台灣後常引進旺盛西南氣流，並受台灣地形影響，導致台灣中南部地區產生豪雨。

俞(1982)對 1952 到 1981 年通過台灣北方海域之颱風資料與台灣中南部降雨資料進行統計研究指出，通過台灣東北方海面轉向東北行徑之颱風，移至韓國、日本一帶時，可將來自南海之潮濕不穩定氣流引進台灣，造成台灣中南部地區嚴重豪雨。Chiao et al. (2003)對 1999 年 8 月侵台的 Rachel 颱風於台灣中南部產生豪大雨之個案進行數值模式研究，發現當颱風侵台及離台後，西南季風及颱風環流增強，低層輻合通過海面，遇到台灣西南部地形生成新的對流胞，在台灣中南部引發豪大雨。

在北行颱風伴隨西南氣流引發豪大雨的案例中，2004 年的敏督利颱風是一個最典型的個案。根據中央氣象局之敏督利颱風路徑圖（圖 1），敏督利颱風於 2004 年 6 月 23 日在關島西北方海面上形成，並向西行進，26 日之後開始轉向偏北行進。2004 年 6 月 27 日敏督利增強為中度颱風，持續向西北移動，三日後轉為向北，此時外圍環流已影響台灣。在 2004 年 7 月 1 日敏督利颱風環流受到陸地地形的破壞，強度減弱為輕度颱風，並於當日晚間於花蓮登陸，次日上午由淡水河口附近出海，朝北北東方向進入東海。在颱風中心

離開台灣地區後，對流旺盛且範圍廣的西南氣流雲系從 7 月 2 日下午開始持續受敏督利颱風影響而引進台灣中南部上空，受到中央山脈抬升，加速水氣凝結，導致在台灣中南部降下豪雨。直到 7 月 3 日晚間，位於台灣西南方海域上空之西南氣流才稍微減弱。總結而言，敏督利在登陸前已轉為輕度颱風，而其所引進的西南氣流產生豪雨所造成的災情卻如同強颱般慘重，因此除颱風本身環流帶來之風雨外，颱風離台後引進之西南氣流對豪大雨也扮演相當重要的角色。

Lee et al. (2005) 對敏督利颱風引起的降雨過程分為三個階段。第一階段降雨集中在台灣東部地區，是由颱風環流及地形舉升所造成。第二階段為颱風位於台灣北部時，由其外圍環流及西南氣流輻合所引起的豪雨。第三階段為颱風北行遠離台灣後，其牽引來自南海熱帶地區潮濕且不穩定的西南氣流移向台灣，此為產生豪雨的主要原因。李等(2005)研究分析結果也發現，敏督利颱風逐漸遠離期間，南海地區低層大氣為一暖濕且條件性不穩定的環境，且大氣中對流可用位能值偏高。由於南海地區一直有對流雲系生成及發展，並透過西南氣流傳送至台灣地區，再受到中央山脈地形的舉升，導致台灣中南部豪大雨。

徐(2005)發現敏督利颱風在登陸前，南海地區已蘊含大量水氣。當颱風侵台至離台期間及出海後，分別與季風槽及高空槽線位置的配合，有利於引進南海地區的潮濕水氣，並證實中央山脈的阻擋效應是造成降雨強度與分佈的重要因素之一。敏督利颱風離台後，伴隨之西南氣流引起豪雨的原因除了引進對流或條件性不穩定深厚之旺盛西南氣流與地形效應的因素之外，尚有因低層強西南風形成之低層噴流、中尺度渦旋激發對流、準滯留綜觀系統及在台灣西南方形成之帶狀

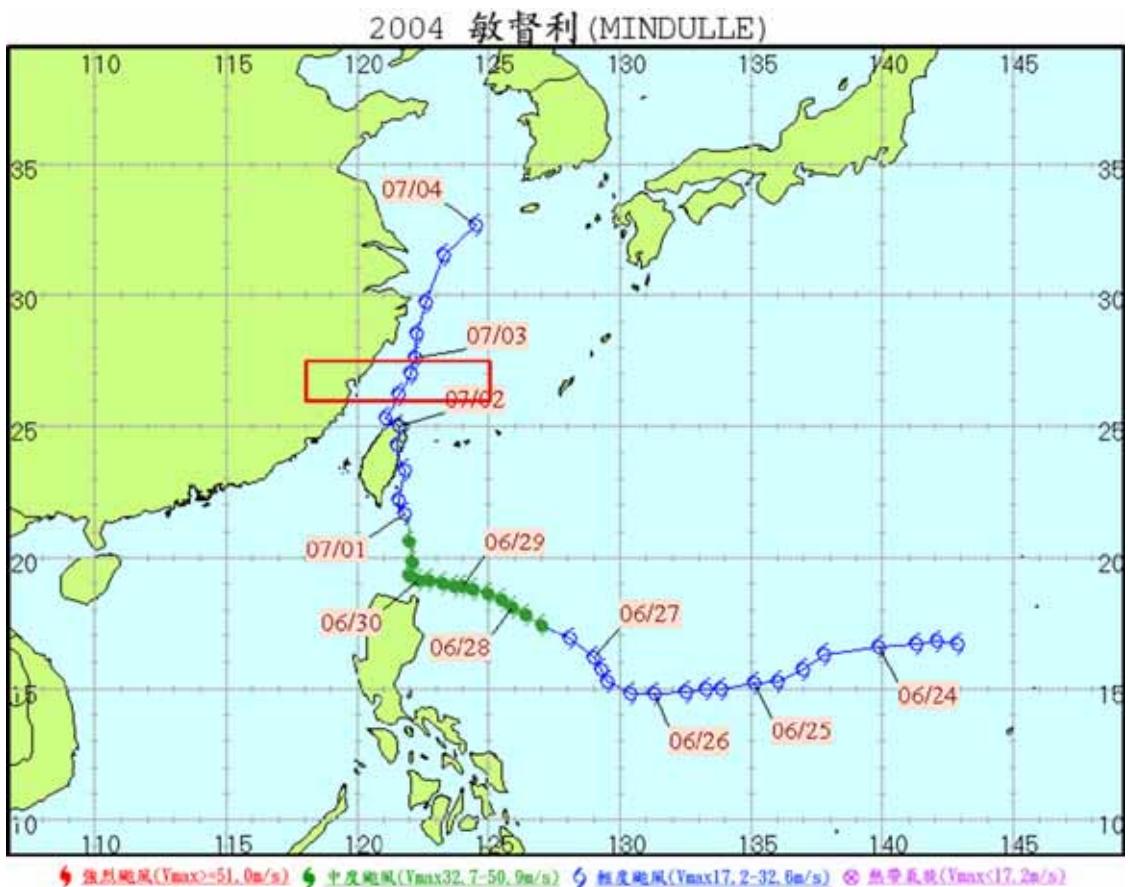


圖 1 中央氣象局之敏督利颱風路徑及 0 h 位置選取範圍示意圖。資料為每 6 小時一筆，颱風強度以不同顏色符號表示；粉紅色空心表熱帶氣旋，藍色空心表輕度颱風，以及綠色實心表中度颱風。在颱風中心離台後，首度進入台灣東北方或西北方外海；即圖中紅框範圍內(北緯 26° ~ 27.5° ，東經 118° ~ 125°)的第一時間定義為 0 h。以 0 h 為基準，時間往前 12 小時、往後 12 小時及往後 36 小時，分別以-12 h、+12 h 及+36 h 表示。

輻合等的影響(蕭，2006)。

Chien et al. (2008)、Lee et al. (2008) 及柳(2006)利用 MM5 模式模擬，發現敏督利颱風位於台灣北部期間，由西南氣流向北傳送之暖濕空氣在具有較高之對流不穩定度的南海北部形成中尺度低壓，並加強菲律賓至南海北部間的氣壓梯度力，使西南氣流被加強。颱風出海後，太平洋高壓向西延伸，使南海北部中尺度低壓逐漸減弱消失，

導致海峽上到菲律賓之間氣壓梯度力增大，顯著之西南氣流延伸到台灣海峽南部。由於西伸之太平洋高壓、南海北部的中尺度低壓及副中心三者交互作用，導致西南氣流增強。

雖然過去已有許多研究對敏督利颱風伴隨豪雨之現象進行分析，但對於形成如此強烈西南氣流的颱風個案，其綜觀環境有何特別之處並無所悉。因此本論文利用過去近 60 年間通過台灣北部

海域之北行颱風的合成平均結果，探討颱風出海前後伴隨之西南氣流的變化及與大氣環境的關連性。接著再進一步分析、比較敏督利颱風伴隨之西南氣流持續影響台灣地區之原因，以了解產生如此旺盛西南氣流的環境條件。

二、資料來源及研究方法

本研究使用的資料來自 1950 至 2005 年聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)的最佳颱風路徑資料與美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 的再分析資料(NCEP Reanalysis)。首先，我們利用 JTWC 的颱風路徑資料針對這 56 年的颱風搜尋通過台灣附近區域後，向北介於北北西到北北東之間行進之颱風。再利用 NCEP 再分析資料對這些颱風個案進行合成平均，分析之資料包含各時間及各分層的水平風場、重力位高度場、相對濕度，以及地面降雨量等。

本研究為探討北行颱風離台後，於台灣西南方及南海北部海域有無存在明顯西南氣流，因此定義颱風離台而首度進入台灣北方海域介於北緯 $26^{\circ}\sim27.5^{\circ}$ ，東經 $118^{\circ}\sim125^{\circ}$ 間（圖 1 所示）之時間為「0 h」，並判斷其隨後在北行過程中是否有引進西南氣流。我們把所挑出的個案分類，分為兩對照組，一組為颱風離台後有引進明顯西南氣流者稱為 SW 組，即在台灣西南方及南海附近海域 850 hPa 層風速在 30 kts 以上，且地面降雨量大於 30 mm d^{-1} ，此組共有 33 個個案。另一組為沒有引進明顯西南氣流者，即在同一海域 850 hPa 層風速未達 30 kts，且地面降雨量不超過 30 mm d^{-1} ，稱為 noSW 組，此組共有 26 個個案。我們的分析以 0 h 為基準，往前 12 小時以 -12 h 表示，

往後 12、24、36 及 48 小時，分別以 +12 h、+24 h、+36 h 及 +48 h 表示，共六組時序。將兩對照組中的所有個案分別依這六組時序作合成平均後，再將每一時序依 1000、925、850、700、600、500、400 及 300 hPa 這八層不同高度分別作圖分析。最後挑選出變化較為顯著的時序，分別為 -12 h、+12 h 及 +36 h。

三、敏督利颱風伴隨西南氣流之分析

(一) 降雨與 1000 hPa 氣流

在 7 月 2 日 0000 UTC 時，敏督利颱風中心位於台灣北部（圖 2a），因為 7 月 2 日 1200 UTC 時，颱風中心才進入本文定義的區域（圖 1），因此定義 7 月 2 日 0000 UTC 為 -12 h。此時，1000 hPa 層颱風東側有密集分佈的等重力位高度線向西南方延伸至南海中部上空。南海北部吹西南西風至西南風，風速均在 25 kts 以上，而在台灣西南方及南海北部海域受颱風外圍環流影響，降雨豐沛，即使是再分析資料之日最大降雨量也達 120 mm d^{-1} 以上。經過 24 小時(+12 h)，颱風北移離開台灣，中心位於台灣北方海域時，密集之等重力位高度線向北延伸，其間之西南風風速稍增。台灣西南方海域降雨強度減弱，但降雨範圍仍廣（圖 2b），此時明顯之西南氣流帶來的潮濕水氣應為導致降雨的主要原因。至 7 月 4 日 0000 UTC (+36 h) 時，敏督利颱風北移至華北地區外海，密集之等重力位高度線持續向北延伸，降雨帶也隨之北移。此時南海上空西南氣流減弱，台灣西南方及南海北部海域附近降雨量明顯減少，但在台灣海峽有一明顯降雨量大值區（圖 2c），此處的降雨應是由颱風環流帶來之西北氣流與南方之西南氣流輻合產生對流所致(柳，2006)。

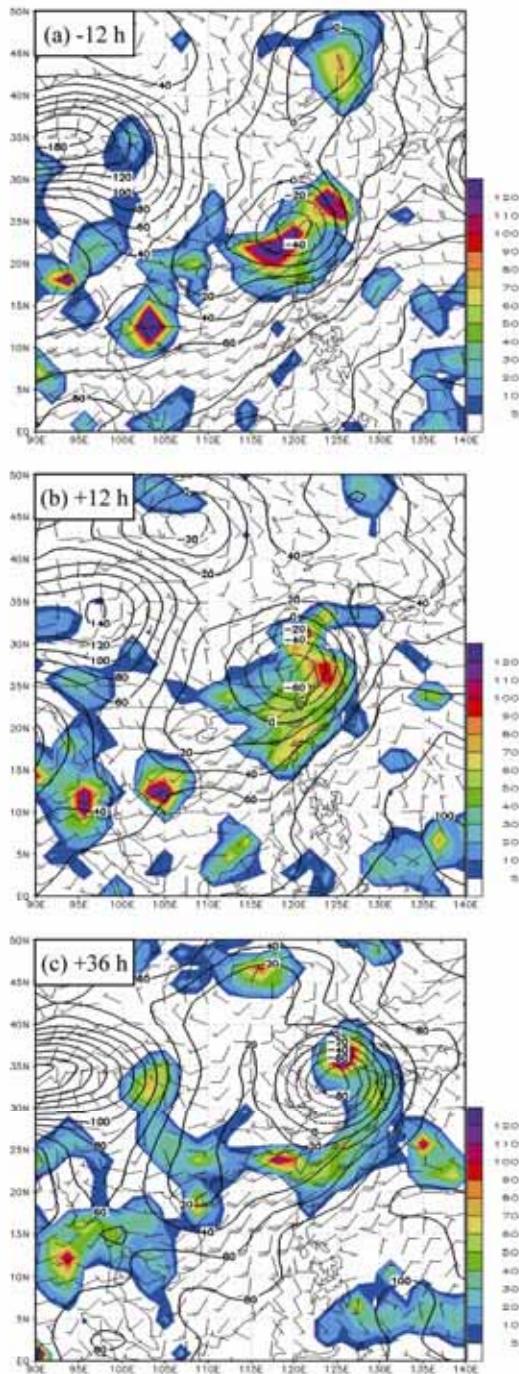


圖 2 敏督利颱風 1000 hPa 重力位高度場(實線，單位為公尺)、水平風場(風標，長線為 10 節；kts，短線為 5 節；kts)及地面降雨量(色階，單位為 mm d^{-1})。分別為，(a) -12 h (7 月 2 日 0000 UTC)、(b) +12 h (7 月 3 日 0000 UTC) 及(c) +36 h (7 月 4 日 0000 UTC)。

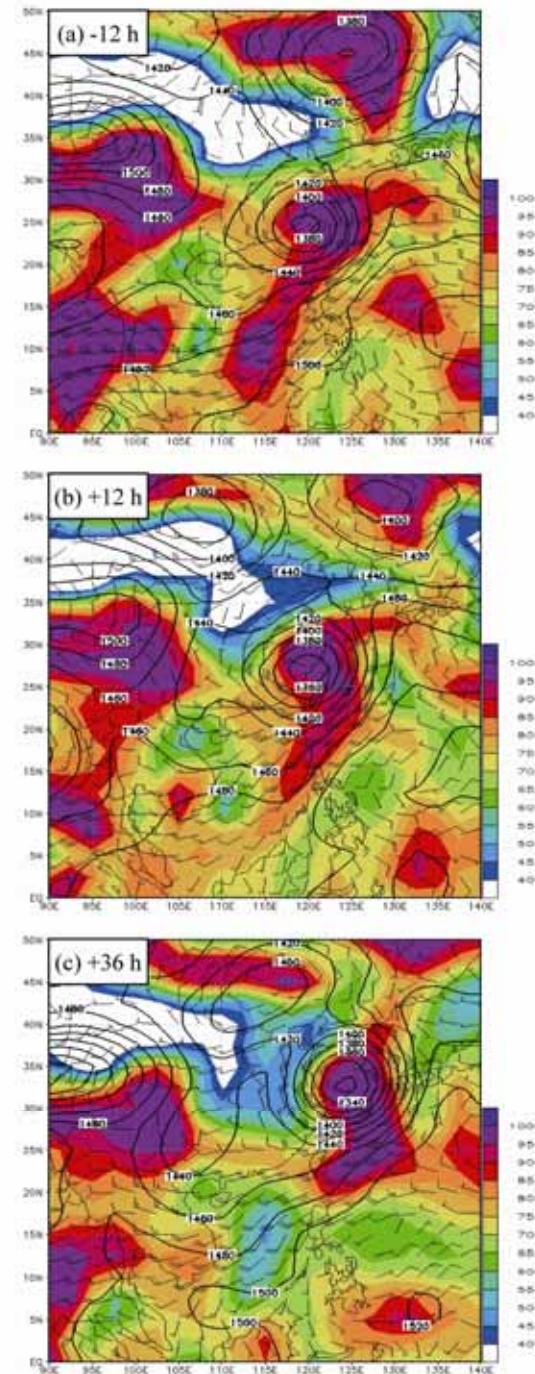


圖 3 敏督利颱風於 850 hPa 之重力位高度(實線，單位為公尺)、水平風場(風標，長線為 10 節；kts，短線為 5 節；kts)及相對濕度(色階，單位為百分比%)。時序分別為，(a) -12 h (7 月 2 日 0000 UTC)、(b) +12 h (7 月 3 日 0000 UTC) 及(c) +36 h (7 月 4 日 0000 UTC)。

(二) 低層氣流

當敏督利颱風位於台灣北部上空的-12 h (7月2日0000 UTC)時，在850 hPa（圖3a）處，由颱風東側向西南方延伸至南海上空的重力位高度線分佈密集，且呈東北—西南走向，其間之強西南風帶與水氣帶由台灣附近區域延伸至南海中部，風速均在25 kts以上，最強可達45 kts，水氣帶相對溼度在85%以上。在700 hPa處（圖4a）可見潮濕水氣集中在南海中部與台灣及其西南方海域上空。此層在台灣西南方及南海北部海域風向轉為西南西風，相對濕度及風速降低，仍有明顯西南氣流。

經過24小時後(即+12 h，7月3日0000 UTC)，敏督利颱風中心離台，位於台灣北方海域上空。由於颱風持續往北移動，明顯之西南氣流也隨著北移，850 hPa層（圖3b）可見水氣帶位置與密集之等重力位高度線重合，其間之西南風風速仍強。但在700 hPa層（圖4b），位於南海上空的水氣帶消失，相對濕度大幅減少。由颱風外圍的西北氣流與南海上空的西南氣流在台灣西南方及南海北部海域上空輻合，產生風速最強達45 kts的西風至西南西風。輻合形成的水氣帶與颱風環流附近水氣帶相連，通過台灣西南方海域上空，顯見此層(700 hPa)西南氣流的水氣主要來自華南地區附近的南海海域。

在+36 h時(7月4日0000 UTC)，敏督利颱風北移至華北地區外海。由於颱風出海後，獲得來自海洋的能量及水氣，其強度較-12 h及+12 h為強，而此現象由中央氣象局的觀測資料中亦可見，但因進入中緯度區域，其特性逐漸轉為溫帶氣旋。在850 hPa層顯示（圖3c），南海上空的水氣飽和度明顯較-12 h及+12 h減少。而潮濕水氣

帶北移，相對濕度在95%以上之範圍增加，分佈在颱風中心及其第四象限的環流區，並由颱風的東南側向西南方延伸，通過台灣東方海域，仍與密集之重力位高度線位置重合，其間之西南氣流旺盛。相對而言，台灣西南方海域上空之西南氣流則較弱。在700 hPa層（圖4c）位於台灣西方輻合帶的潮濕水氣透過西風及西南風，將台灣西方與南海北部的潮濕水氣傳送至台灣。

(三) 中、高層氣流

在-12 h，敏督利颱風尚未離台時，南海上空中、高層(500 及 300 hPa)水氣較低層(700 hPa以下)大幅減少。於500 hPa層（圖5a），太平洋高壓鄰近颱風東側，並西伸至颱風位置的南方，使得颱風東南側外圍環流增強；台灣南方海域上空等重力位高度線密集，向北的氣壓梯度力大，其間西南風速在35 kts以上，且相對濕度在60~75%之間，有明顯西南氣流。至300 hPa層（圖6a），高層槽位於華北地區上空，颱風低壓已不明顯，台灣西南方及南海北部海域上空明顯乾燥，且水平風向已變為不一致。

當敏督利颱風中心離台，位於台灣北方海域上空的+12 h時，由於前24小時(-12 h)位於敏督利颱風東北方的婷婷颱風此時減弱，低壓消失，使太平洋高壓勢力範圍北移。明顯可見敏督利颱風外圍環流與500 hPa槽線位置重合，且台灣位於500 hPa高層槽的下方，因此台灣上空的西南風及南海北部的西風風速較前24小時為增強，水氣帶更往北延伸，相對濕度維持在60%以上（圖5b）。至300 hPa層（圖6b），高層槽加深並延伸至華中地區，颱風的低壓中心已消失，台灣西南方及南海北部海域上空風速微弱，風向不一致，相對濕度降至40%以下。

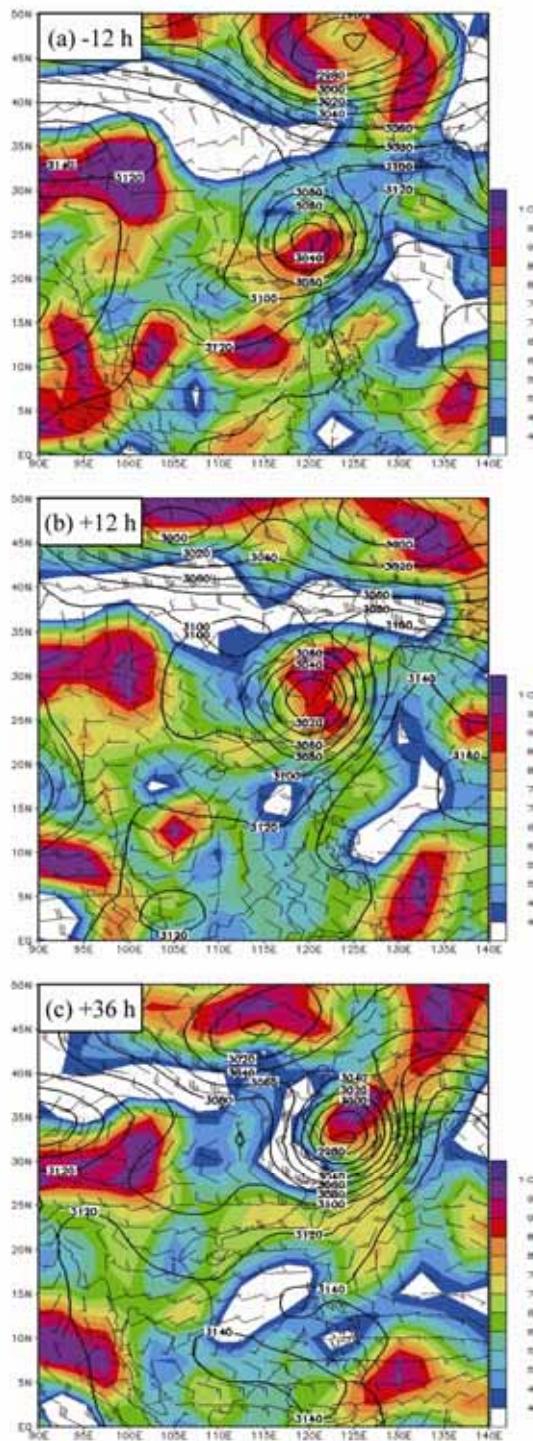


圖 4 同圖 3，但於 700 hPa 層。

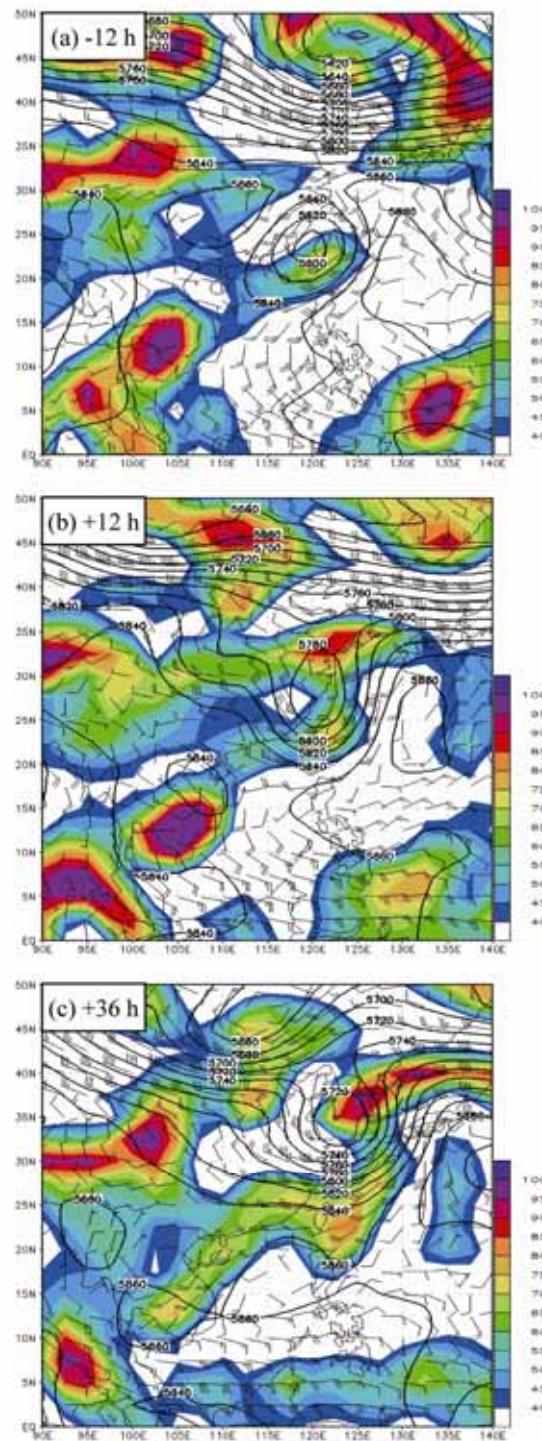


圖 5 同圖 3，但於 500 hPa 層。

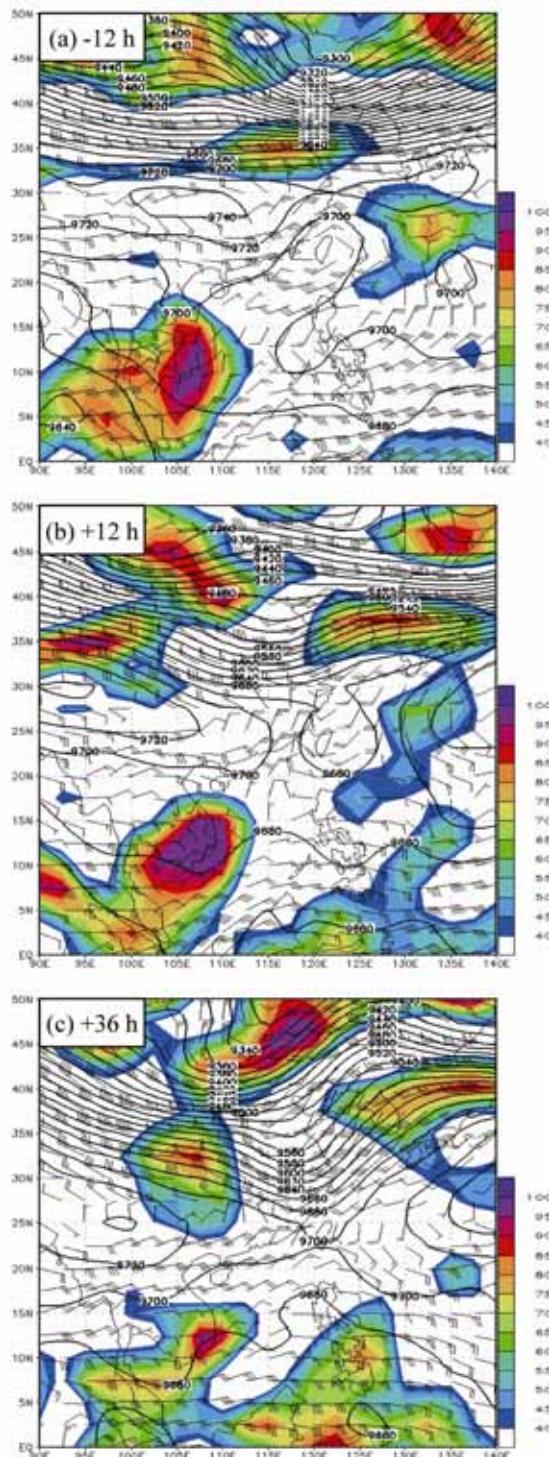


圖 6 同圖 3，但於 300 hPa 層。

在+36 h 時，敏督利颱風位於華北地區外海。由 500 hPa 層（圖 5c）可見，此時太平洋高壓勢力增強，西伸至南海上空。而颱風環流與槽線重合的強風帶移至台灣北方海域，水氣帶由颱風東南側向西南延伸至台灣東方海域。由於太平洋高壓的西伸，在東南亞至華南地區上空出現風速在 20 kts 以上的西南風，將東南亞南部的潮濕水氣帶至台灣，並出現東北—西南走向的水氣帶。可明顯看到颱風離台後，300 hPa 高層槽逐漸加深並西移，於+36 h 時，300 hPa 高層槽位於台灣上空。而華中外海有強西南風帶，主要因為颱風與高層槽線位置重合，使颱風環流與槽線西南風疊加增強（圖 6c）。

四、北行颱風伴隨西南氣流之合成分析

(一) 降雨與 1000 hPa 氣流

由 1950 至 2005 年北行颱風合成平均之 1000 hPa 重力位高度場、水平風場及地面降雨量分析發現，SW 組颱風中心強度較 noSW 組強許多。在-12 h 時，SW 組颱風中心位於台灣北部上空，台灣東部海域之平均降雨量最大，而在南海附近海域平均降雨量與水平風場分佈均勻；降雨在 10~30 mm d⁻¹ 間，其間之西南風速為 10~20 kts（圖 7a）。同一時間 noSW 組在南海海域附近之平均降雨量較小且分佈零散，風向也較不一致，風速偏弱（圖 8a）。隨著兩組颱風往北移動，最大平均降雨區也跟著北移。SW 組在+12 h 時（圖 7b），最大平均降雨量減少，但降雨範圍擴大，且向北延伸。而 noSW 在台灣西南方及南海附近海域平均降雨量較-12 h 時明顯減少（圖 8b）。至+36 h 時，SW 組（圖 7c）之颱風中心強度減弱，降雨帶延伸至東海海域，呈東北—西南走向，形成

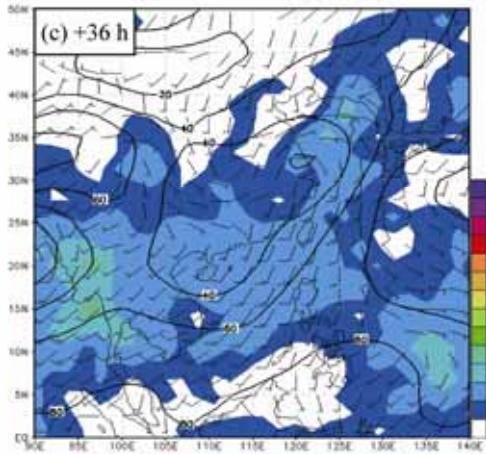
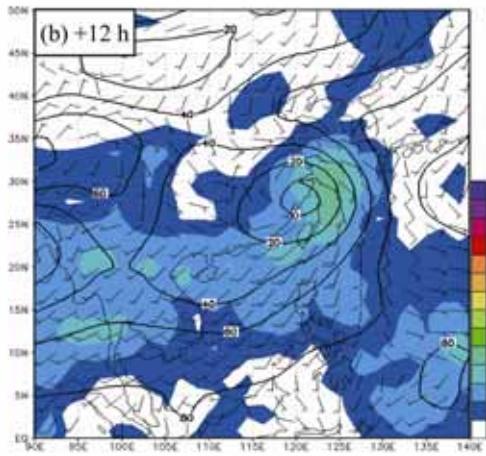
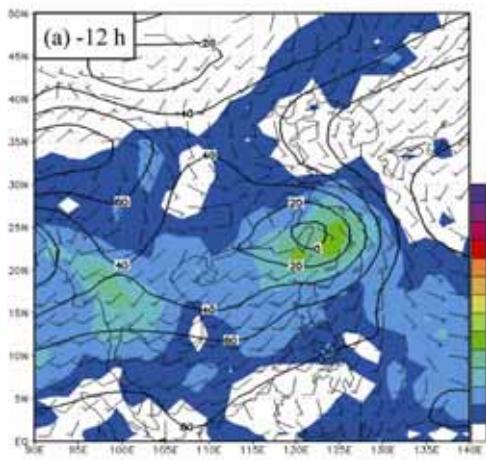


圖 7 SW 組合之 1000 hPa 重力位高度場(實線，單位為公尺)、水平風場(風標，長線為 10 節；kts，短線為 5 節；kts)及地面降雨量(色階，單位為 mm d^{-1})。時序分別為，(a) -12 h、(b) +12 h 及 (c) +36 h。

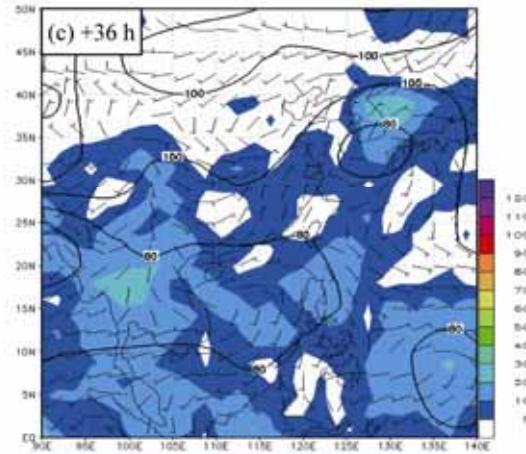
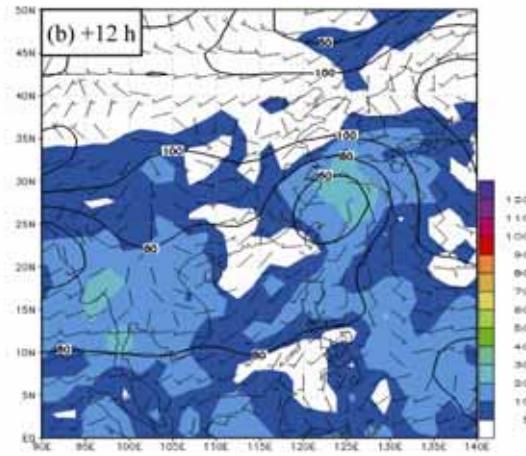
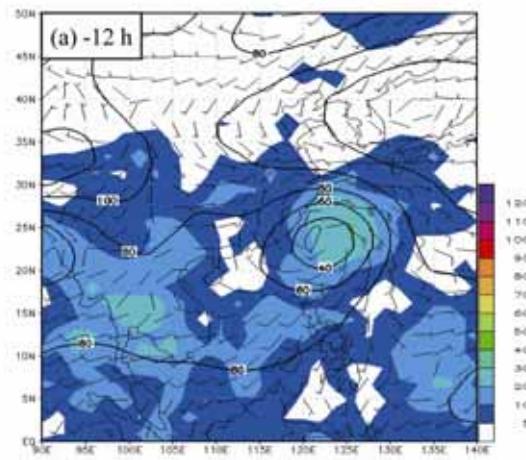


圖 8 同圖 7，但為 noSW 組颱風。

廣闊的降雨帶。而 noSW 颱風在此時低壓中心已消失，南海上空之風向明顯不一致，風速微弱，降雨區域較零散，且降雨量少於 20 mm d^{-1} (圖 8c)。

(二) 低層氣流

在-12 h 時，SW 與 noSW 組合成之颱風中心皆位於台灣上空。在 850 hPa 處 (圖 9a) 顯示，SW 組在東南亞地區及颱風之低壓中心附近，水氣明顯豐沛，其中南海上空相對濕度在 70~80% 之間。由颱風東側延伸出密集分佈之等重力位高度線呈東北東—西南西走向，通過南海並延伸至東南亞地區上空，其間吹西南風至西南西風，形成風速在 15~25 kts 間的強風帶。在相同時間，noSW 組 (圖 10a) 由於南海海域上空之等重力位高度線分佈稀疏，重力位梯度小，風速較弱，無強風帶及明顯水氣帶存在。其中南海北部海域上空風速及相對濕度均明顯較 SW 組者 (圖 9a) 小。SW 組在 700 hPa 層，南海上空之水平風向轉為西風至西南西風，並與相對濕度為 65~70% 的水氣帶位置重合。而原本密集之等重力位高度線變得較為稀疏，風速減弱 (圖 11a)。noSW 組在 700 hPa 層整體而言水氣減少，尤其南海上空之水氣在此層明顯減少，相對濕度下降至 50~60%。而南海上空之西北風至西南風風速微弱；多數未達 10 kt，只有台灣南方海域風速在 15 kts 以上 (圖 12a)。

經過 24 小時後(+12 h)，兩組合成之颱風中心皆離開台灣，位於台灣北方。在 850 及 700 hPa 處，SW 組中密集之等重力位高度線隨颱風北移而向東北方延伸，此時呈現東北—西南走向，通過南海上空，其間之西南風速為 10~20 kts (圖 9b 及 11b)。在東南亞地區上空存在有大量的水氣，

且南海海域附近的水氣仍豐沛，並與颱風外圍水氣分佈延續，形成之水氣帶與密集之等重力位高度線位置重合。noSW 組在 850 hPa 處 (圖 10b) 與 SW 組 (圖 9b) 比較，南海上空較為乾燥，且無明顯水氣帶存在，相對濕度減至 70~75%。海南島附近的風向較不一致，風速在 5 kts 以下。而在 700 hPa 層 (圖 12b)，低壓中心及東南亞附近地區兩大水氣聚集處仍存在，但兩者之間通過南海的水氣帶已不相連，與 SW 組 (圖 11b) 比較南海上空水氣飽和度大幅降低，風速也明顯減弱。

至+36 h 時，SW 組颱風之低壓中心往北移至華中外海一帶，noSW 組則向東北方移動至南韓、日本南部一帶，兩者之強度皆明顯減弱。SW 組在 850 及 700 hPa 處 (圖 9c 及 11c)，由低壓東側延伸之等重力位高度線分佈仍密集，並通過台灣及南海北部海域上空，台灣上空之西南風速在 15~20 kts 間。而在 850 hPa 層 (圖 9c)，南海上空明顯可見一條相對濕度在 75% 以上之水氣帶由華中外海的低壓中心延伸至南海海域，並與密集之等重力位高度線位置重合。noSW 組在 850 及 700 hPa 層 (圖 10c 及 12c)，低壓中心消失，其伴隨之水氣豐沛區也隨之消失，於南海北部至台灣西南方海域上空之南風風速及相對濕度明顯較 SW 組 (圖 9c 及 11c) 小。

(三) 中、高層氣流

在-12 h 時，於 500 hPa 處，SW 組 (圖 13a) 在南海海域附近上空，原在低層(700 hPa 以下)存在之密集的等重力位高度線在此高度已不復見，但由於合成之颱風強度較 (noSW 組) 強，低壓與向西延伸之太平洋高壓間的氣壓梯度力大，使得菲律賓附近的西南風增強。其中相對濕度大於 60% 的水氣帶仍清晰可見，由台灣東南方海域上空向

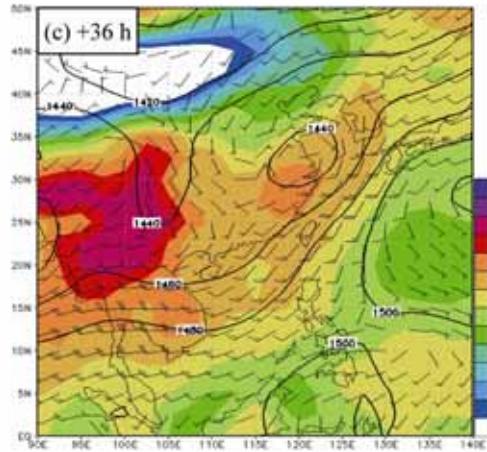
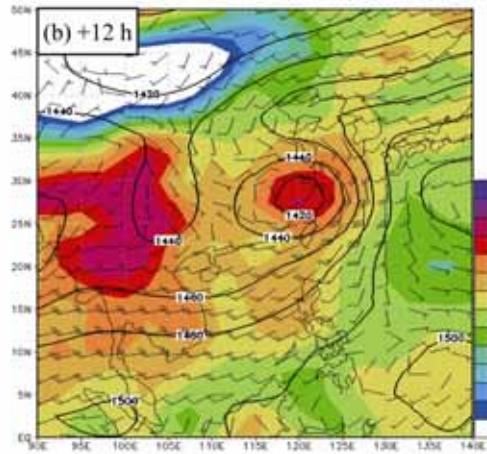
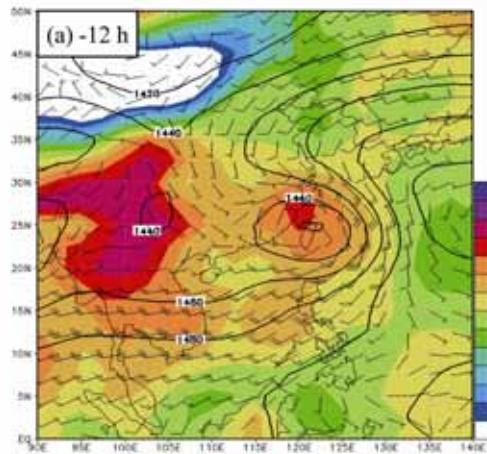


圖 9 SW 組颱風於 850 hPa 合成平均之重力位高度場(實線,單位為公尺)、水平風場(風標,長線為 10 節; kts, 短線為 5 節;kts)及相對濕度分佈(色階,單位為百分比%)。時序分別為,(a) -12 h、(b) +12 h 及(c) +36 h。

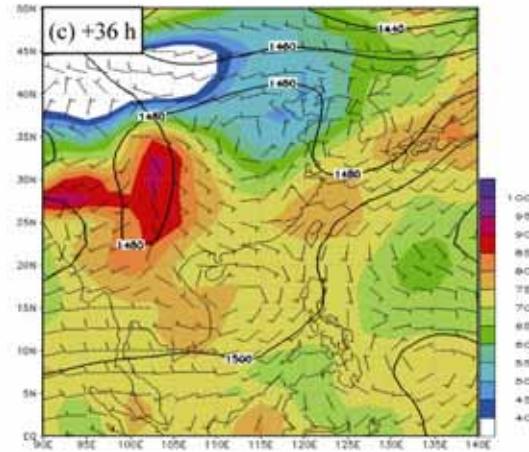
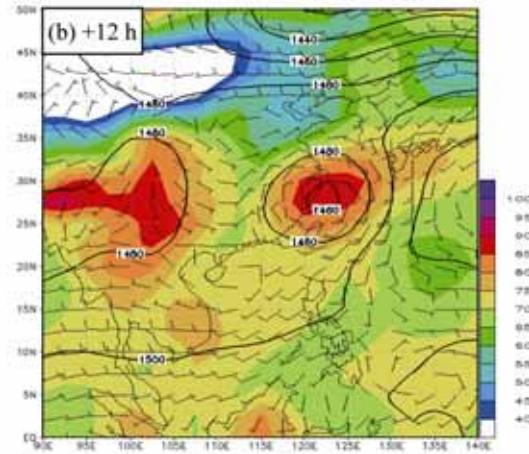
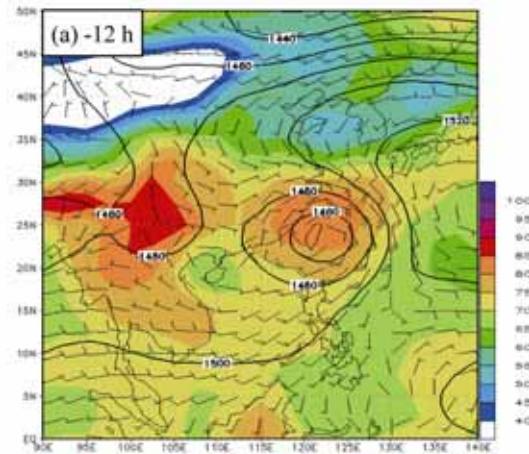


圖 10 同圖 9,但為 noSW 組颱風。

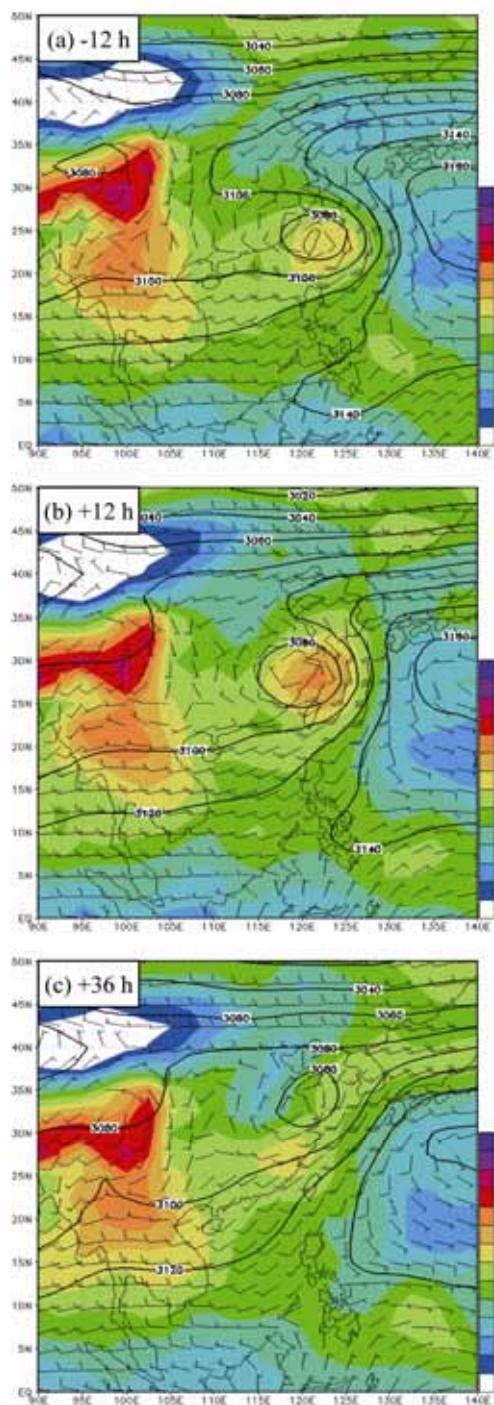


圖 11 同圖 9，但為 700 hPa 層。

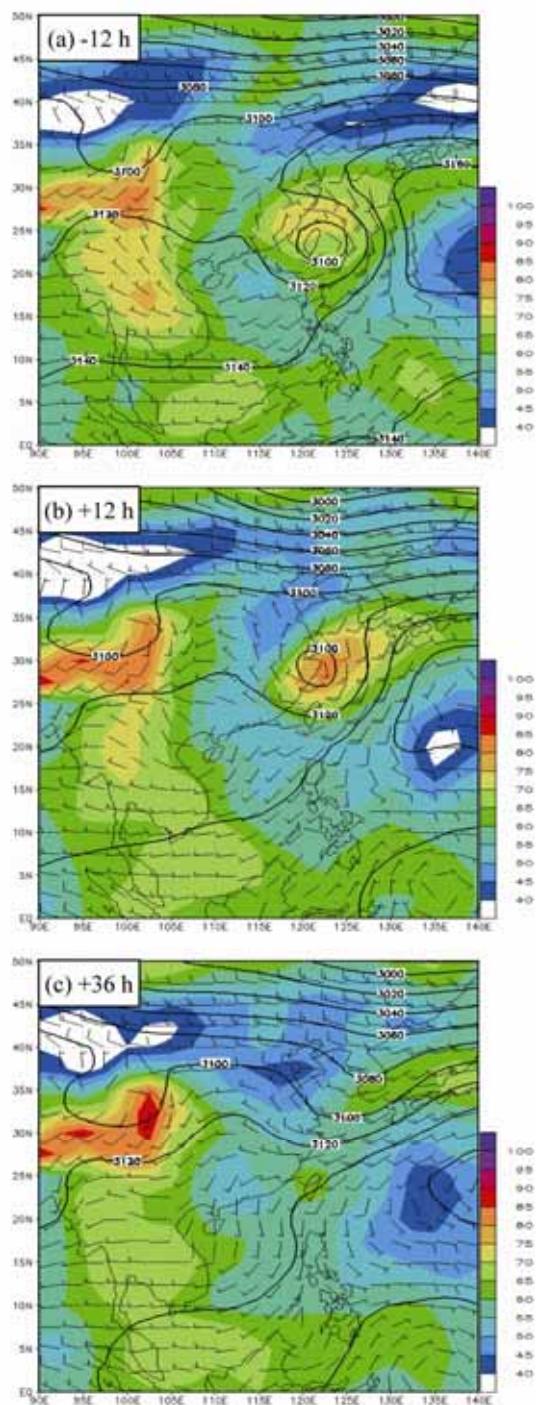


圖 12 同圖 9，但為 noSW 組颱風，於 700 hPa 層。

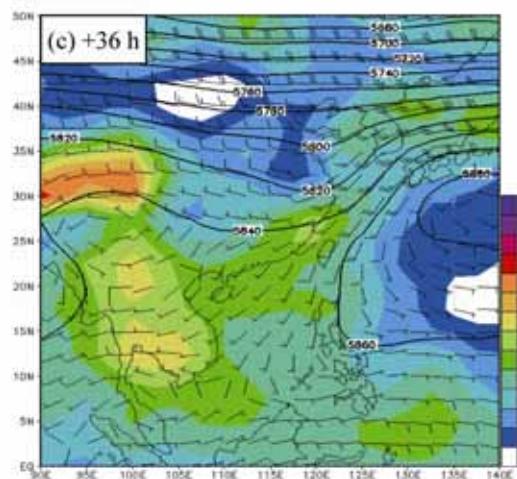
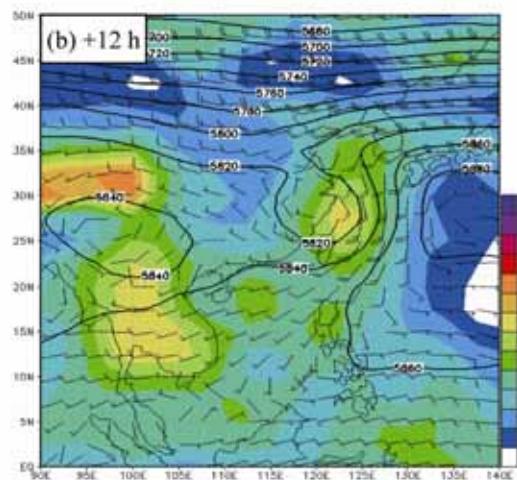
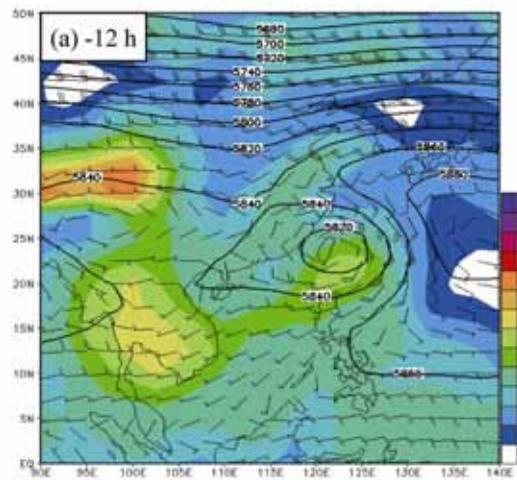


圖 13 同圖 9，但為 500 hPa 層。

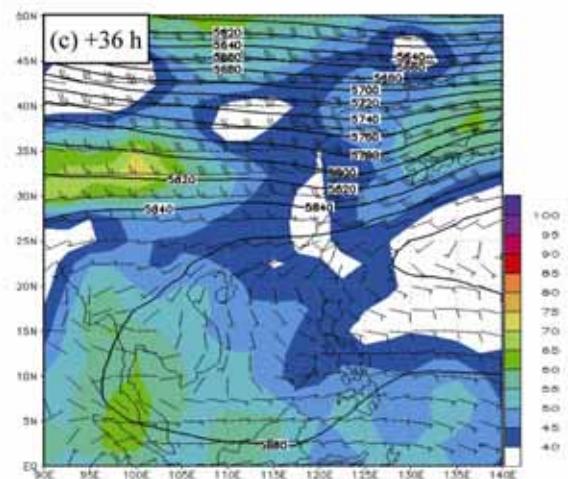
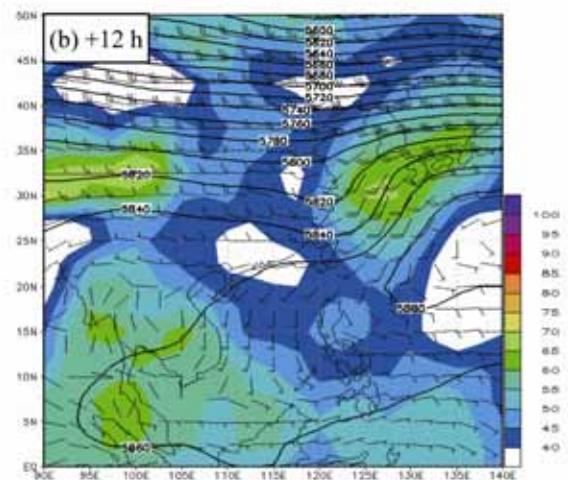
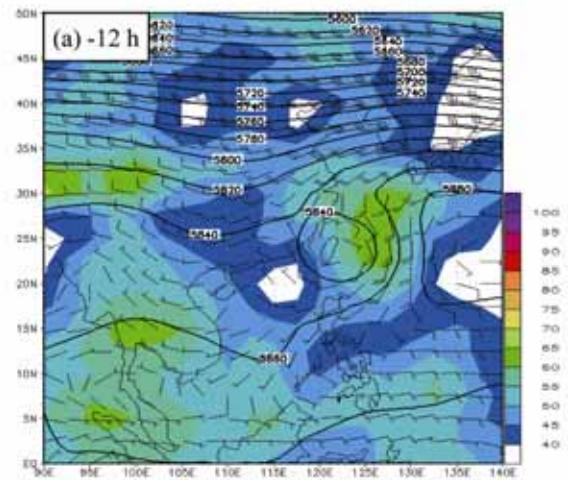


圖 14 同圖 9，但為 noSW 組颱風，於 500 hPa 層。

西南方延伸至東南亞。相對於 noSW 組(圖 14a)，由於合成之颱風強度較弱，使高層之低壓槽較平緩，導致太平洋高壓的分佈範圍明顯較 SW 組廣，向西延伸涵蓋東南亞南部地區及印度洋東岸部分區域。整體而言水氣飽和度較 SW 組低，尤其在南海北部海域上空大部分區域相對濕度在 45%以下，水平風場仍以西風分量為主，但已零散、不一致，且風速更為微弱。在 300 hPa 處，SW 組(圖 15a)低壓中心已不明顯，而南海海域上空轉為東北風，大部分區域相對濕度仍在 40%以上。而 noSW 組在 300 hPa (圖 16a) 的低壓中心消失，高層槽分佈的位置較為偏西，且槽線較深。在南海及台灣地區上空較 SW 組為乾燥，相對濕度在 40%以下，風速微弱。可見 SW 組在颱風未離台前，南海上空已蘊含旺盛水氣，且水氣厚度厚。

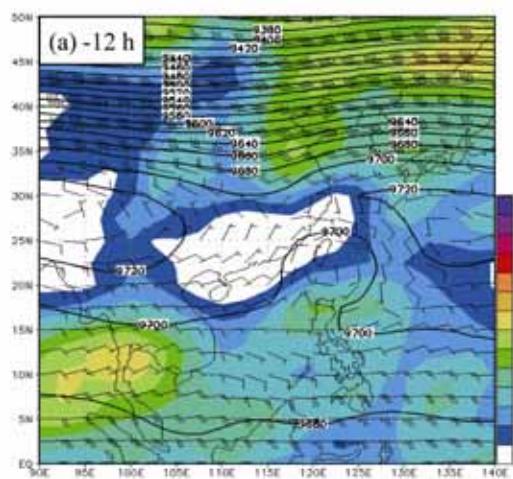
至+12 h 時，SW 組在 500 hPa 處 (圖 13b)，位於台灣北部的低壓中心已明顯減弱，只剩一短波槽，但與鄰近之太平洋高壓間之氣壓梯度力仍大，其間之西南風速在 20~25 kts 之間，附近仍蘊含潮濕水氣。而在南海海域上空，密集之等重力位高度線及南海北部的水氣帶已消失，且西南風已明顯減弱，大部分區域相對濕度也下降至 55~60%。而 noSW 組此時在 500 hPa 層(圖 14b)，低壓中心消失，可明顯看到太平洋高壓勢力向北延伸，範圍涵蓋東南亞東部地區（柬埔寨、越南南部一帶）及部分海南島地區，形成較穩定的環境場，因此位於此處的水氣量相對而言也較 SW 組為少。在 300 hPa 處，SW 組低壓中心消失，槽線加深與低層颱風低壓位置重合，在台灣地區上空吹微弱西南西風，南海上空潮溼程度仍高 (圖 15b)。而 noSW 組在此層槽線則變得較為平緩(圖 16b)，台灣地區至南海海域上空的水氣飽和度較

低，呈現較為乾燥的情形。

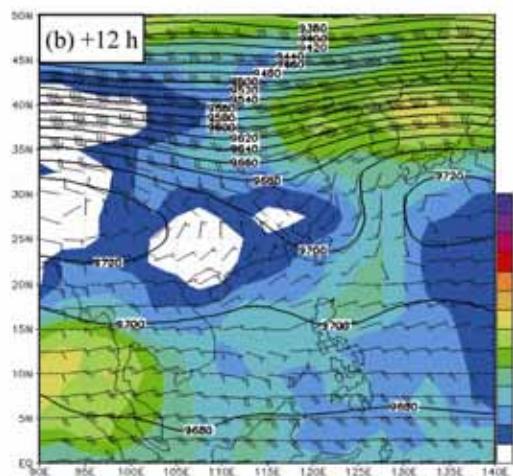
至+36 h 時，SW 組於 500 hPa 層 (圖 13c) 顯示，低壓中心消失，低壓槽與鄰近之太平洋高壓間的強西南風速帶北移，而風速維持在 20~25 kts 之間。位於南海上空密集之等重力位高度線已消失，仍吹西南風，風速減弱至 5 kts。而水氣帶相對於低層，範圍及強度皆減小，但在華南沿海附近上空的相對溼度仍有 60~65%。而 noSW 組在此層 (圖 14c)，太平洋高壓勢力範圍不僅較前 24 小時(+12 h)廣，也較相同時間的 SW 組廣，範圍涵蓋至台灣及部分東南亞、華南地區。台灣上空與 SW 組同樣吹西南風，但風速較弱，且明顯乾燥，相對濕度在 40%以下。在 300 hPa 層顯示，SW 組 (圖 15c) 高層槽較前 24 小時平緩，槽線仍與低層低壓中心位置重合，台灣上空吹微弱西南風，並有一相對濕度在 50~55%間之水氣帶由南海延伸至高層槽右側，通過台灣上空。而 noSW 在 300 hPa 層 (圖 16c)，高層槽較前兩個時序(-12 h 及+12 h)趨緩且不明顯。與同一時序之 SW 組 (圖 15c) 比較，呈現較為乾燥的情形，相對濕度都在 40%以下。

五、討 論

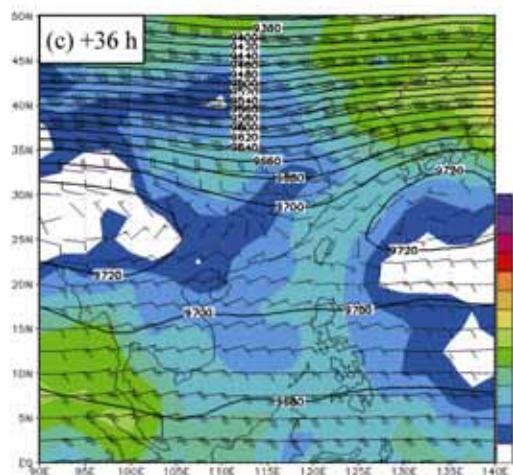
敏督利颱風伴隨西南氣流，並引進南海之潮濕空氣，是為台灣中南部產生豪雨之重要原因。透過分析敏督利颱風環境場資料顯示，颱風在離台前，於南海上空已蘊含豐沛水氣。降雨集中在台灣西南方海域及南海北部地區，由颱風東側延伸出密集分佈之等重力位高度線呈東北—西南走向，其間之強西南風速帶及水氣帶通過南海上空，使得南海北部低層西南氣流非常顯著。當敏督利颱風離台移至更遠之韓國、日本一帶期間，



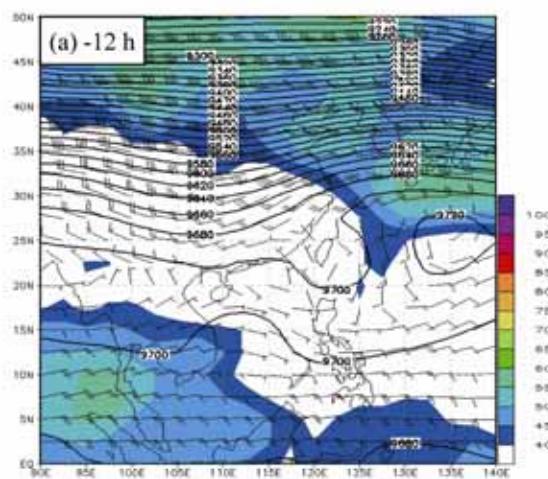
(a) -12 h



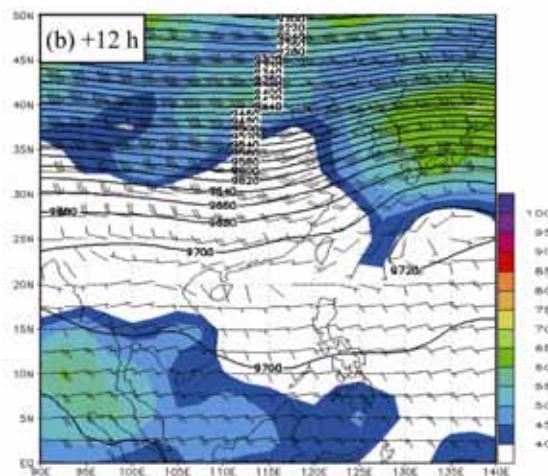
(b) +12 h



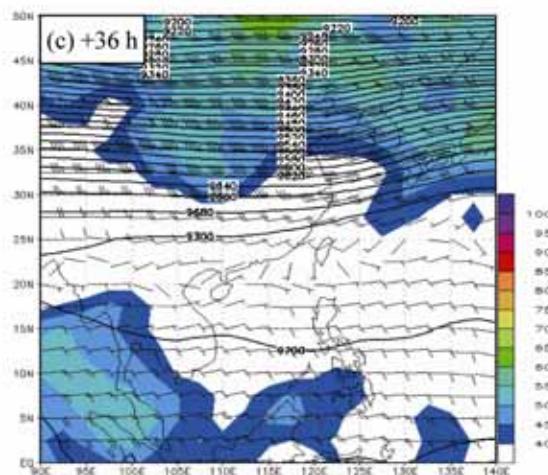
(c) +36 h



(a) -12 h



(b) +12 h



(c) +36 h

圖 15 同圖 9，但為 300 hPa 層。

圖 16 同圖 9，但為 noSW 組颱風，於 300 hPa 層。

雖然南海低層之西南氣流減弱，但由於颱風與季風槽位置重合，導致台灣上空西至西南風受到颱風環流及季風槽疊加增強，並引進南來之西南氣流。且太平洋高壓西伸勢力增強，使海南島附近至台灣西南方海域一帶氣壓梯度力增強，其間西南風速增加，有利於將低緯之潮濕水氣持續向北傳送。這些結果與過去徐(2005)、Chien et al. (2008) 及 Lee et al. (2008) 等之研究一致。但是否所有北行颱風皆具有此相似的特性？其環境場又有何不同？什麼因素是敏督利颱風特殊之處，可以造成超大豪雨？本論文針對合成平均之比較嘗試回答這些問題。

如前述，我們已針對 1950 至 2005 年北行颱風合成平均的 SW 組與 noSW 組進行比較與分析，可見其環境場存在著明顯之差異。而為了整理並清楚顯現這些差異，我們進一步將兩組平均結果相減，以歸納出颱風離台前後，於台灣西南方及南海北部西南氣流之環境特點。由圖 17 及 18 可見，SW 組較 noSW 組水氣豐沛且厚度厚。SW 組及 noSW 組颱風在離台後皆往北行進，路徑差異不大。但是，相對於 noSW 組，SW 組颱風在離台前，在南海及東南亞地區上空蘊含豐沛的水氣，尤其愈往高層相對濕度值相差愈大。同時，SW 組之低層颱風中心（例如，圖 17）重力位高度較深，相對於 noSW 組，整個華南地區皆屬於低壓槽的範圍，相減之後形成負值中心，導致東北—西南走向之重力位高度梯度更強，其間之強西南風有利將南海上空的潮濕水氣傳送至台灣地區。隨時間，此負值中心往華南移動，而在日本地區逐漸形成一正值中心，可見 SW 組的颱風低壓有偏向西北、緩慢行進的趨勢，而 noSW 組則向東北、且以偏快之速度移動。因為這樣的差異導致在 SW 組中，台灣地區受到較強且較持

續之西南氣流的影響，造成較大之降雨。同時，SW 組之颱風低壓在離台後，不僅與高層槽位置重合，並與鄰近之太平洋高壓互相配合，導致日本至台灣東方海域氣壓梯度力大，使得台灣及其附近海域上空西南風速增強，有助於引進南來之西南氣流（例如，圖 18）。

另外，比較 SW 及 noSW 組合成平均之對流可用位能(CAPE)及相當位溫發現，SW 組颱風在離台前(-12 h)，台灣至華南地區及南海北部海域皆有較高的對流可用位能值（圖 19a）。颱風離台後，高對流可用位能值($1500\sim1700 \text{ J kg}^{-1}$)範圍增加，至+ 36 h 時，延伸至台灣南部區域（圖 19b 及 c）。可見 SW 組在台灣至華南地區及南海北部海域附近之大氣環境較為不穩定，高對流可用位能所提供之熱力機制使對流較易被激發及發展，導致降雨。在相當位溫分布方面，SW 組在此 48 小時期間，隨颱風北移，相當位溫 301 K 等值線範圍減小，但台灣及南海北部附近海域之相當位溫仍較 noSW 組高（圖 19 及 20）。可見 SW 組在此區域較為暖濕，其熱力機制提供對流發展。

SW 組已經過許多個案之合成平均，其各氣象場相對於敏督利颱風個案而言是較平滑的 (smooth)，因此雖然敏督利颱風與 SW 組平均場之北行颱風有許多相似之處，但比較其結構更能突顯強西南氣流個案之特色。例如 SW 組在颱風離台前，南海已蘊含大量潮濕水氣，且水氣厚度厚，而敏督利颱風個案之相對濕度更高（圖 3a、4a、5a 及圖 9a、11a、13a 比較），在台灣地區造成之降雨量明顯較多（圖 2 及圖 7 比較）。敏督利颱風個案的可用位能及相當位溫在台灣海峽南部及南海北部皆遠比 SW 組大並且較為集中（圖未示），其大氣環境極不穩定，有利強對流發展。敏督利颱風與 SW 組在低層皆由颱風東側延伸出密

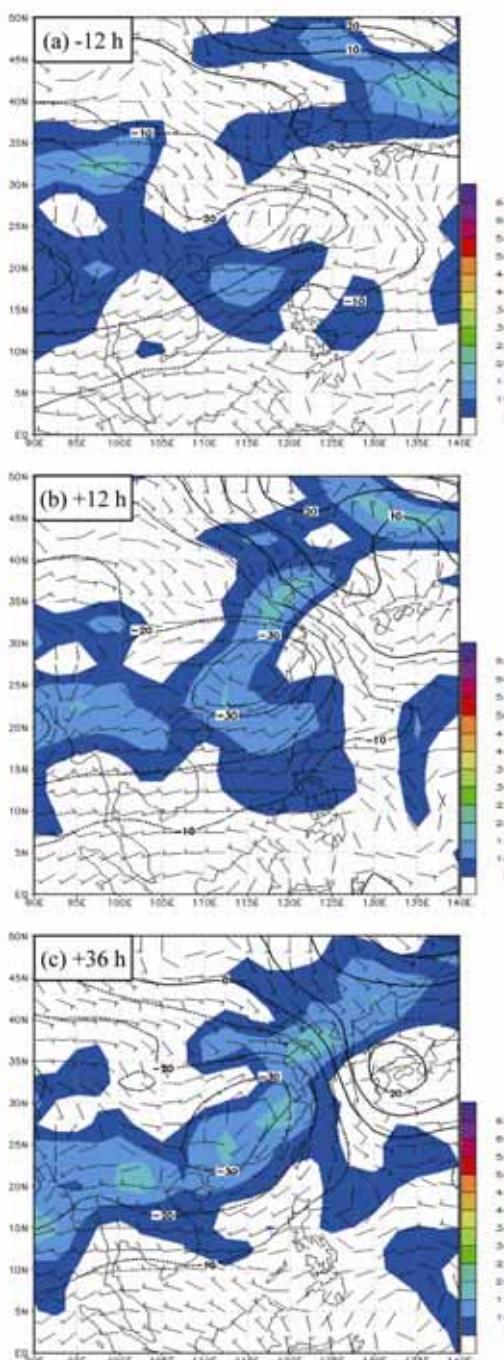


圖 17 SW 組與 noSW 組颱風(SW - noSW)於 700 hPa 重力位高度場(實線，單位為公尺)、水平風場(風標，長線為 10 節；kts，短線為 5 節；kts)及相對濕度(色階，單位為百分比%)之差異。時序分別為，(a) -12 h、(b) +12 h 及(c) +36 h。

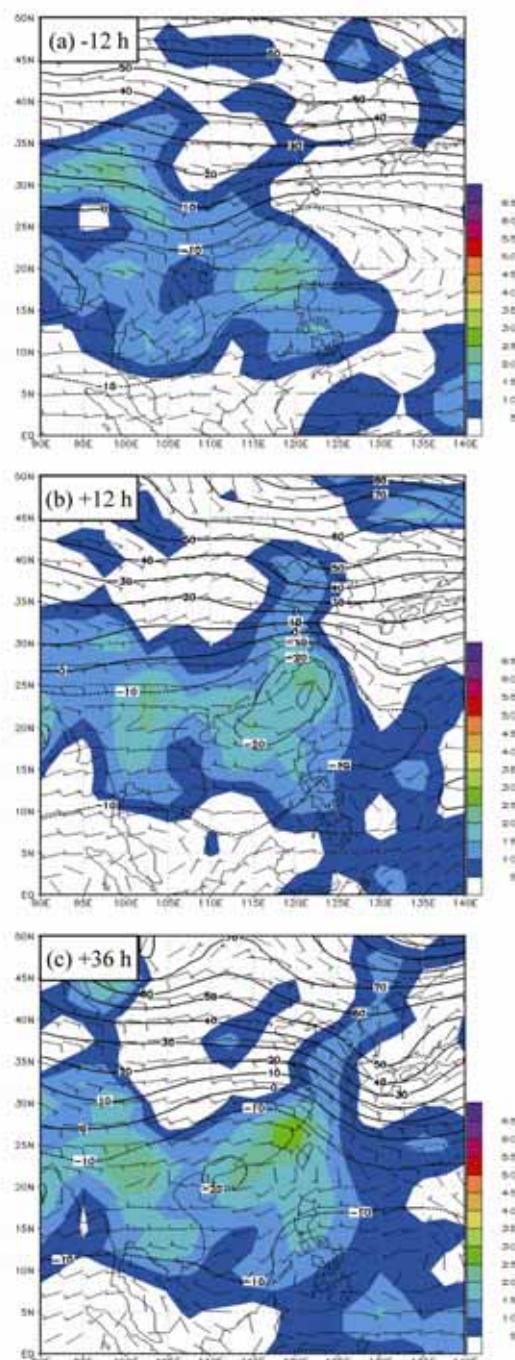


圖 18 同圖 17，但於 500 hPa 層。

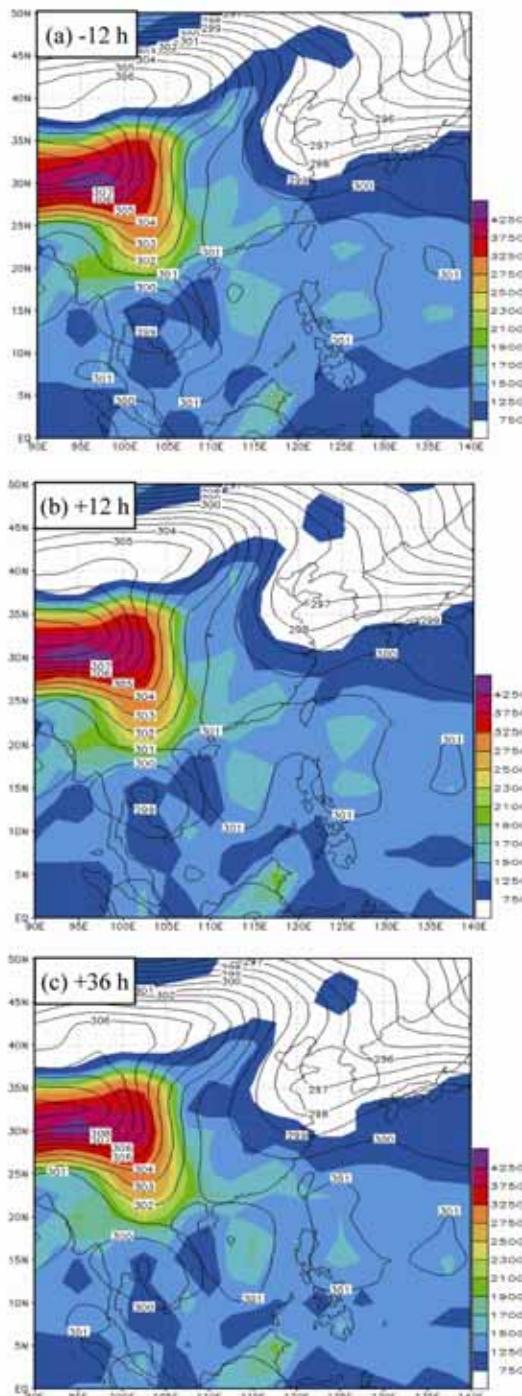


圖 19 SW 組颱風 1000 hPa 相當位溫(實線, 單位為 K)及對流可用位能(色階, 單位為 $J kg^{-1}$)。時序分別為, (a) -12 h、(b) +12 h 及(c) +36 h。

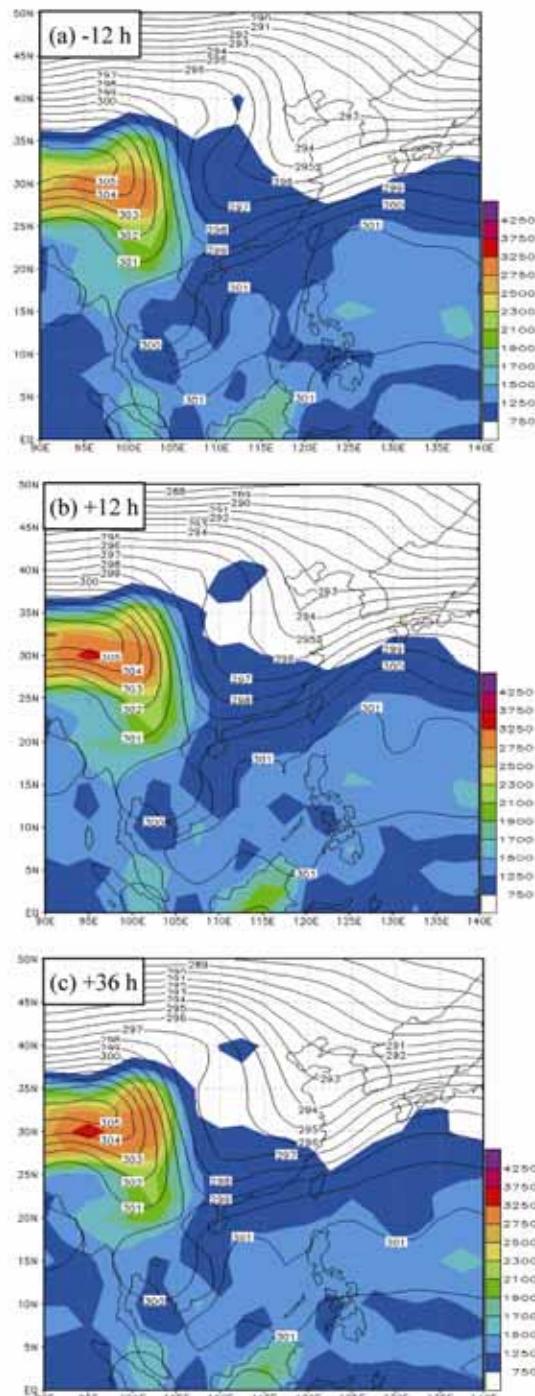


圖 20 同圖 19，但為 noSW 組颱風。

集之等重力位高度線通過台灣及南海上空，並隨颱風的北移而向北延伸，其間之強西南風至颱風離台後持續將南海上空的潮濕水氣傳送至北方，形成明顯之西南氣流帶（圖 3、4 及圖 9、11），唯敏督利颱風更為明顯。在颱風離台後，受太平洋高壓分佈影響，敏督利個案之太平洋高壓西伸至南海附近，導致高壓西緣的海南島附近至台灣西南方海域一帶氣壓梯度力增加（圖 5b 及 c）；而 SW 組中，鄰近之太平洋高壓與颱風低壓和華南低壓槽的配置增強台灣至日本間的氣壓梯度力（圖 13b 及 c）。兩種結果皆導致通過台灣上空的西南風增強，使低緯之暖濕空氣得以繼續向北傳送。雖然敏督利颱風有太平洋高壓略為西伸以增強其西南氣流，但我們從 noSW 組中發現，當颱風北行之後，若太平洋高壓的勢力更往西延伸，而籠罩南海北部時，將造成西南氣流被阻絕，水氣量減少的結果。因此，太平洋高壓對西南氣流的增強並非永遠正貢獻，還需看其相對位置而定。另外，敏督利個案與 SW 組不同的地方還有在其離台後又與季風槽重合，使台灣上空西南風疊加增強。

此外，梅雨鋒面伴隨之西南氣流往往也會在台灣中南部造成豪雨。其中 Chen (1983) 研究提出，在 700 hPa 附近之低層強西南氣流可傳送潮濕水氣及熱量至梅雨鋒面的暖側，並使此層之相當位溫增加。這與本研究之 SW 組在台灣至南海北部有明顯之西南氣流，並伴隨較高之相當位溫的現象相似。而 Chen et al. (2003) 及 Jiang et al. (2003) 之研究發現，在暖期(強 ENSO 年)時，伴隨著異常反氣旋(anomalous anticyclone)由北太平洋向西南延伸至菲律賓海，使得台灣至南海北部上空低層之西南氣流增強，提供熱帶地區的潮濕水氣。可見無論是北行颱風或是梅雨鋒面伴隨之西

南氣流，槽線及西伸之太平洋高壓在台灣至南海北部西南氣流之增強上均扮演了重要的角色。

六、結論

本研究針對 2004 年侵台的敏督利颱風個案及 1950 至 2005 年北行颱風合成平均的結果，探討台灣西南方及南海北部存在明顯西南氣流之特徵條件，以及分析西南氣流與附近大氣環境配合之情形。同時，將敏督利颱風個案與北行颱風合成平均場相互比較其異同，以探討產生豪雨之原因。

綜合分析與比較敏督利颱風個案以及兩組 (SW 及 noSW 組) 北行颱風之西南氣流結果顯示，SW 組颱風離台前，由於南海北部上空的大氣氣壓偏弱，環境較為不穩定，並無類似 noSW 組的高壓穩定環境，所以在南海上空蘊含豐沛的潮濕水氣，同時西南氣流因較強的颱風低壓北行牽引而增強。不過，北行颱風通過台灣北部海域後，颱風與華南低壓槽及太平洋高壓之間是否相互配合，是為南海及台灣附近之西南氣流能否持續並傳送暖濕水氣的重要因素。像是敏督利颱風個案及 SW 組之颱風離台前皆在南海上空蘊含豐厚水氣，離台後分別受到季風槽及華南低壓槽的影響，使台灣附近上空之西南氣流得以維持，並將暖濕空氣持續北送。而兩者於 48 小時間的地面降雨分佈皆與低層水氣分佈相似，顯然，導致降雨之水氣來源與西南氣流有顯著相關性存在。但敏督利颱風因為是個案，伴隨之西南氣流較合成平均之 SW 組更為旺盛，在台灣產生之降雨也明顯較多。我們歸納北行颱風於南海海域及台灣附近存在顯著西南氣流之有利環境條件為：1) 南海及東南亞上空在颱風離台前即蘊含大量的潮濕水氣。2) 颱風東側向西南方延伸出呈東北—西南走

向且密集分佈的等重力位高度線，其間有強西南風速帶，並隨颱風的北移而向北延伸。3) 颱風強度需較強，離台後移動偏慢，且朝向西北方行進，與華南低壓槽結合，使得台灣至南海北部間之低層西至西南風增強。因為這些有利條件，在台灣西南方及南海北部海域上空產生旺盛西南氣流，將深厚、不穩定的潮濕水氣傳送至台灣地區而造成豪雨。

本研究主要討論敏督利颱風及 1950 至 2005 年間北行颱風伴隨之西南氣流與附近大氣環境場之結構。北行颱風合成平均之結果相對於過去徐 (2005)、Chien et al. (2008) 及 Lee et al. (2008) 等之個案研究較能顯現出西南氣流之綜合特徵。在分析討論過程中發現，旺盛西南氣流的產生與維持，與大尺度天氣系統的變化息息相關。而在歷年北行颱風是否引進明顯西南氣流的分類上，本文僅分為兩大類，未來可依颱風強度、路徑等其他方面作更仔細的分類，並可進一步去探討南海及東南亞上空豐沛的潮濕水氣是否與聖嬰現象或其他氣候因素有關聯性，如此更可清楚了解北行颱風引進旺盛西南氣流的條件因素。

致 謝

本研究在國科會 96 年度大專學生參與專題研究計畫、自然處研究計劃 NSC 96-2111-M-003-001、及永續會研究計劃 NSC 96-2625-Z-003 -001 共同支助下完成。感謝 NCEP 及中央氣象局提供研究期間所需之資料，使得本文得以順利完成。

參考文獻

- 林得恩、戴志輝、顧自雄、任亦偉、鳳錦暉，2006：敏督利颱風登陸後的三個降雨階段，天氣分析與預報研討會論文彙編(95)，(4-84)-(4-89)。
- 李紀恩、呂木村、林裕豐、林得恩，2005：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，天氣分析與預報研討會論文彙編(94)，495-500。
- 俞家忠，1982：通過台灣北方海上颱風與台灣中南部豪雨之研究，大氣科學，9，95-112。
- 柳懿秦，2006：敏督利颱風(2004)侵台期間伴隨之中尺度現象，國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文。
- 徐文達，2005：伴隨敏督利颱風的強烈西南氣流引發豪大雨之個案探討，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
- 蕭育琪，2006：敏督利颱風伴隨西南氣流之數值研究，國立台灣師範大學地球科學研究所碩士論文。
- Chen, G.T.-J., 1983: Observational Aspects of the Mei-Yu Phenomenon in Subtropical China. *J. Meteor. Soc. Japan*, 61, 306-312.
- Chen, G.T.-J., Z. Jiang, and M.-C. Wu, 2003: Spring Heavy Rain Events in Taiwan during Warm Episodes and the Associated Large-Scale Conditions. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1173–1188.
- 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.

- Chien, F.-C., Y.-C. Liu, and C.-S. Lee, 2008: Heavy Rainfall and Southwesterly Flow After the Leaving of Typhoon Mindulle (2004) from Taiwan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 86, 17-41.
- Jiang, Z., G. T.-J. Chen, and M.-C. Wu, 2003: Large-Scale Circulation Patterns Associated with Heavy Spring Rain Events over Taiwan in Strong ENSO and Non-ENSO Years. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1769–1782.
- Lee, C.-S., Y.-C. Liu, and F.-C. Chien, 2008: The Secondary low and Heavy Rainfall Associated with Typhoon Mindulle (2004). *Mon. Wea. Rev.*, 136, 1260–1283.
- Lee, C.-S., L.-Y. Lin, K. K.-W. Cheung, Y.-M. Chen, and H.-C. Kuo, 2005 : A Study on the Heavy Rainfall Event in Taiwan Associated with Typhoon Mindulle (2004) and the Accompanied Southwesterly Flow, 天氣分析預報研討會論文彙編(94), 222-227.

A Study of Southwesterly Flow Associated with Northward-moving Typhoons

Fang-Ching Chien Chu-Fang Yang

Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

(manuscript received 10 December 2008 ; in final form 14 March 2009)

ABSTRACT

Typhoon Mindulle (2004) affected Taiwan in late June and early July 2004. After it made landfall and moved northward away from Taiwan, its associated strong southwesterly flow brought heavy rainfall over southern and central Taiwan, resulting in serious flooding and mudslides in many mountainous regions. This study intends to examine the environmental conditions that favor for intense southwesterly flow and heavy rainfall near southern Taiwan after a northward-moving typhoon passed northern Taiwan. Besides Mindulle (2004), we also study all typhoons that advanced with a track between northwestward and northeastward directions after passing northern Taiwan from 1950 to 2005. We used reanalysis data from National Centers for Environmental Prediction (NCEP) and separated the cases in two groups, one with strong southwesterly flow and precipitation (SW), and the other without (noSW). We took composite means for these two groups and compared their difference in terms of geopotential height, winds, relative humidity, and precipitation. The results show that the important ingredients for a northward-moving typhoon to induce strong southwesterly flow and heavy rainfall near Taiwan area include: the low atmosphere is moisture abundant over the northern South China Sea and the southeastern Asia, there are compact isobaric lines extending from the east of typhoon center toward the southwest when the typhoon moving northward, and the typhoon has to be more intense to a certain level and move slowly toward the northwest, and merge with the trough over southeastern China. Under these environmental conditions, the moisture is thus transported northeastward by the strong southwesterly flow, resulting in heavy rainfall in southern and central Taiwan.

Key words: Typhoon Mindulle, Southwesterly flow, Heavy rainfall