

潭美颱風高雄豪雨事件之天氣分析

謝信良 簡國基 王時鼎

中央氣象局

(中華民國九十年十二月二十四日收稿；中華民國九十一年九月八日定稿)

摘 要

本文利用都卜勒雷達、衛星及地面觀測資料，描述 2001 年潭美 (Trami) 颱風之侵台過程，內容則著重在天氣分析與現象說明。潭美是小型且微弱的輕度颱風，生命史僅 36 小時；歸納其所造成之豪雨，共可分為三階段，階段一為颱風環流豪雨，發生在 7 月 11 日上午的蘭嶼地區；階段二是低層環流減弱，西南氣流增強之豪雨，出現於 11 日下午之屏東及高雄山區。第三階段颱風雖已減弱為熱帶性低氣壓，但內部伴隨中尺度渦旋發展，引發比前兩階段更為劇烈的豪雨，發生於 11 日夜間之大高雄地區；其中高雄氣象站 11 日總雨量並創下 40 年來之最大日降雨量 (470.5 公厘) 紀錄，當日雨量的 89% 均集中於 10Z~16Z 之間降下，可見此階段降雨之急劇。

雷達及地面觀測資料顯示，伴隨第三階段豪雨的中尺度渦旋，係於 11 日上午 (約 11Z 起) 在大高雄地區組織發展，成熟後則緩慢向北運動，劇烈降雨區也因而逐漸向北擴展；中尺度渦旋中心繼而通過台南站東側，最後於 16Z~17Z 左右自台南站北側出海，南台灣雨勢才逐漸緩和。潭美颱風運動軌跡之天氣分析顯示，颱風環流於接近台灣地形時，很可能出現高、低層環流分離現象；其中，低層環流減弱消失於台灣東南方近海，高層環流中心則持續向西北運動，以連續路徑通過台灣地形。

關鍵詞：潭美颱風、颱風豪雨、中尺度渦旋

一、前 言

颱風豪雨是台灣地區災害防救，與颱風預報作業的重要項目之一；根據陳等(1993)的研究結果顯示，颱風在台灣地區造成豪雨的成因可歸納為三類：(1)是颱風過境時所伴隨的環流降雨，(2)是蘊涵於颱風內部之中、小尺度對流系統所造成的劇烈降雨，(3)為颱風環流、雨帶受中央山脈抬升、加強所產生之豪雨。

潭美(Trami)颱風在高雄地區所造成之劇烈降水，即是導因於颱風內部之一中尺度渦旋系統，其豪雨類型屬上述第(2)類。類似個案也曾發生於 1997 年登陸阿拉巴馬州的 Danny 颶風，Blackwell(2000)即利用都卜勒雷達、飛機及地面觀測等資料，分析、描述 Danny 颶風結構之演變；發現當颶風靠近 Mobile 海灣時，原本相當對稱的近颱風中心結構轉變為不對稱，轉變期

間，在颱風眼牆的西半側伴隨有一中尺度渦旋(eyewall mesovortex)發展，因而造成連續 9 小時的時雨量超過 100 公厘之劇烈降雨，導致當地嚴重水患。而有關於此類颱風眼牆中尺度渦旋發展之物理機制，近年來亦有多位學者進行研究；如 Schubert et al.(1999)即使用具正壓不穩定之環狀渦度分布為初始條件，進行數值模擬實驗；結果指出，位渦混合(potential vorticity mixing)所激發之非對稱流，為導致颱風出現眼牆中尺度渦旋及多邊形颱風眼的物理機制。Montgomery et al.(2000)則以類似成熟颱風眼牆的渦度分布為初始條件進行模擬，結果顯示眼牆中尺度渦旋之相互合併，以及颱風多邊形眼的對稱化過程，強颱風比弱颱風更為迅速，颱風中心氣壓的降幅也較大。Kossin and Schubert(2001)則利用高空間與時間解析度模式，探討眼牆中尺度渦旋的發展、合併過程；研究結果發現，加強中之颱風，可透過渦度重新整合(由原對稱具正壓不穩定的眼牆→多邊形颱風眼及眼牆中尺度渦旋→對稱化使眼牆之渦度分布回復對稱)之動力過程，不須加入水汽效應，即可促使颱風中心氣壓快速下降。

當然，真實大氣中，眼牆中尺度渦旋之發展，常配合著豐沛水汽；因此，極可能造成劇烈降水。就定量降水預報而言，這類型的豪雨預報尤其困難且富挑戰性；原因除了目前大氣科學，對中、小尺度劇烈對流系統的發展、演變仍未完全了解外，其降雨時間急促、空間變化大且不規則之特性，更提高預報的不確定性與困難度。以現今之颱風預報作業而言，路徑與強度及其在台灣地區所造成之風雨分布，都是預報的重要環節；其中，準確的路徑預報則是首要條件，根據王等(1986)、吳與謝(1990)的研究顯示，由台灣地形與颱風環流之相對配置，

將可大致決定出台灣地區的風雨分布。但是，若伴隨有中、小尺度對流系統之劇烈降水，則往往導致雨量預報出現低估。

近年來，葉等(1999、2000)則利用統計方法對台灣地區的颱風降水進行預測，結果顯示，迎風面地區之颱風降水預測準確度高於背風面，故地形抬升強迫作用之降水，其可預報度相對較高。此外，不論西行或北行颱風，該方法對高雄與台南地區的降水預測誤差最大。由此可知，目前的颱風降水預報技術，對於颱風環流降雨及地形舉升降雨已有相當的掌握能力；但對於中、小尺度對流系統所伴隨之劇烈降水，則有待更多個案研究，以提升預報準確度。而 2001 年編號第 5 號之侵台颱風潭美(Tami)，即是由於颱風內部伴隨中尺度渦旋發展，導致大高雄地區出現近 40 年罕見的豪雨，相當值得進一步了解豪雨發生的過程；因此，本文將使用觀測資料進行探討，重點著重在天氣分析與現象說明，敘述大高雄地區劇烈降雨的成因。本文第二節將說明潭美颱風之生命史及研究動機，第三節則分析潭美颱風的侵台過程，最後第四節為討論與總結。

二、潭美颱風簡介與研究動機

(一)潭美颱風生命史

圖 1 為潭美颱風運動軌跡示意圖，圖中分別繪出高、低層環流中心軌跡、中尺度渦旋中心軌跡及海平面最低氣壓中心軌跡。有關各環流軌跡及氣壓中心之定位方法，本文是同時採用墾丁都卜勒雷達與台灣地區密集地面觀測資料，進行主觀分析研判，並以天氣分析觀點進行定位(過程於第三節中說明)。圖 1 之路徑示意圖顯示，潭美颱風於 7 月 10 日 00Z 在台灣東南

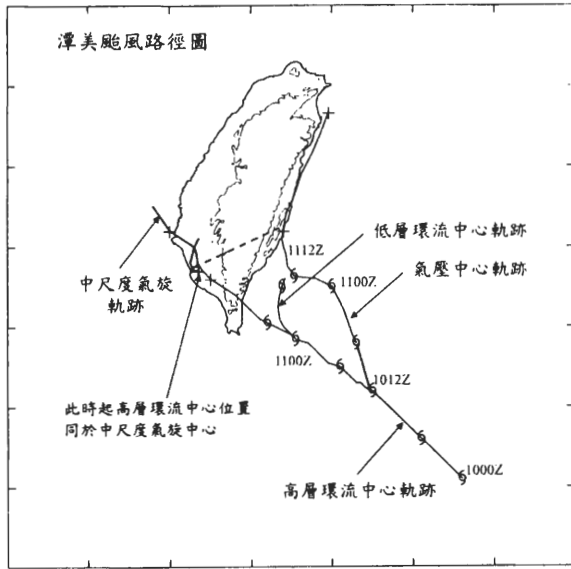


圖1 潭美颱風侵台過程之高低層環流中心、地面氣壓中心及中尺度氣旋運動軌跡示意圖。

方海面形成後，隨即朝台灣地區逼近；颱風環流中心於 11 日 01Z 通過蘭嶼氣象站南側，高層環流中心（潭美颱風在台東外海發生高、低層環流分離，見第三節）並在 11 日 09Z 30 分左右由台東縣大武附近登陸，登陸後強度迅速於 12Z 減弱為熱帶性低氣壓。潭美颱風生成在接近陸地的海域，生命期內強度最強時之近中心最大風速與中心最低氣壓分別僅達 20m/s 與 995hPa，七級風暴風半徑也只有 80 公里，顯示潭美是一個小型且強度微弱的輕度颱風。

潭美颱風於 7 月 11 日逐漸侵台，首當颱風對流雲系侵襲的蘭嶼站日雨量為 185 公厘；大武站與台東站日雨量則僅為 64 公厘與 17 公厘，顯示由颱風環流直接所造成之降水量並不

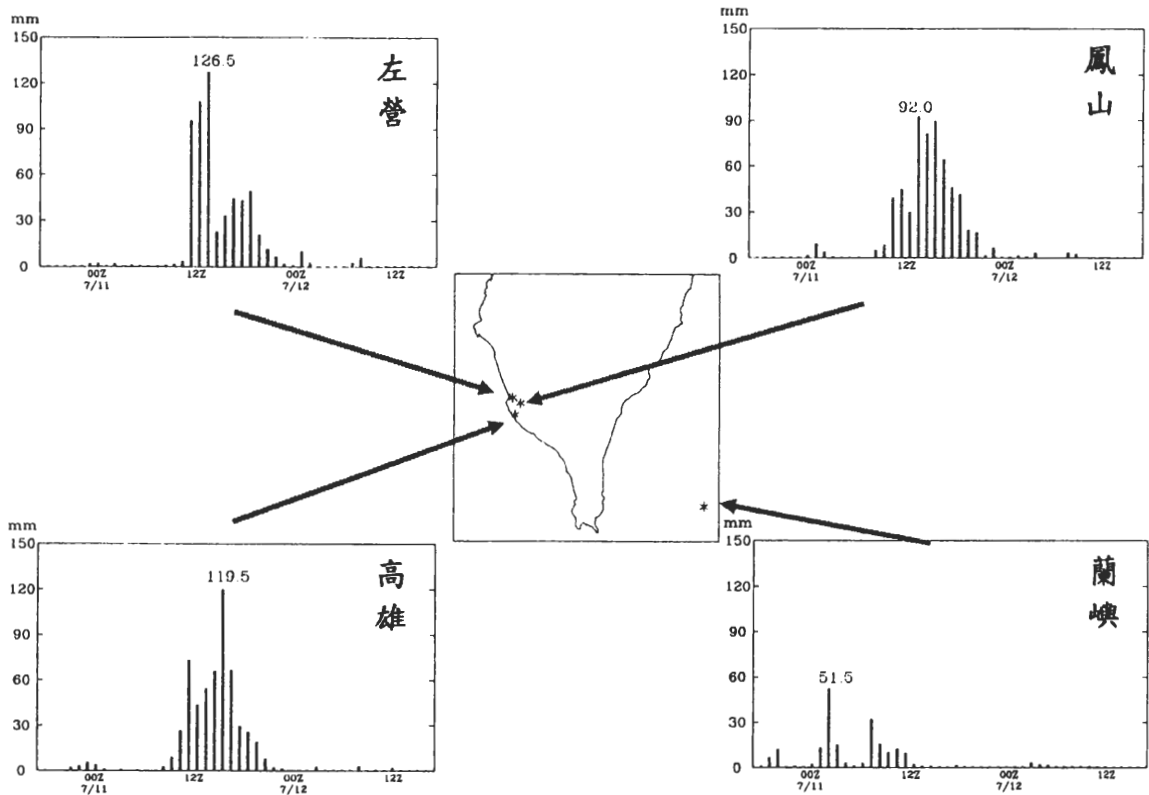


圖2 2001年7月11日~12日左營、高雄、鳳山及蘭嶼站之逐時降雨量分析，圖中126.5、119.5、92.0及51.5為各站之最大時雨量。

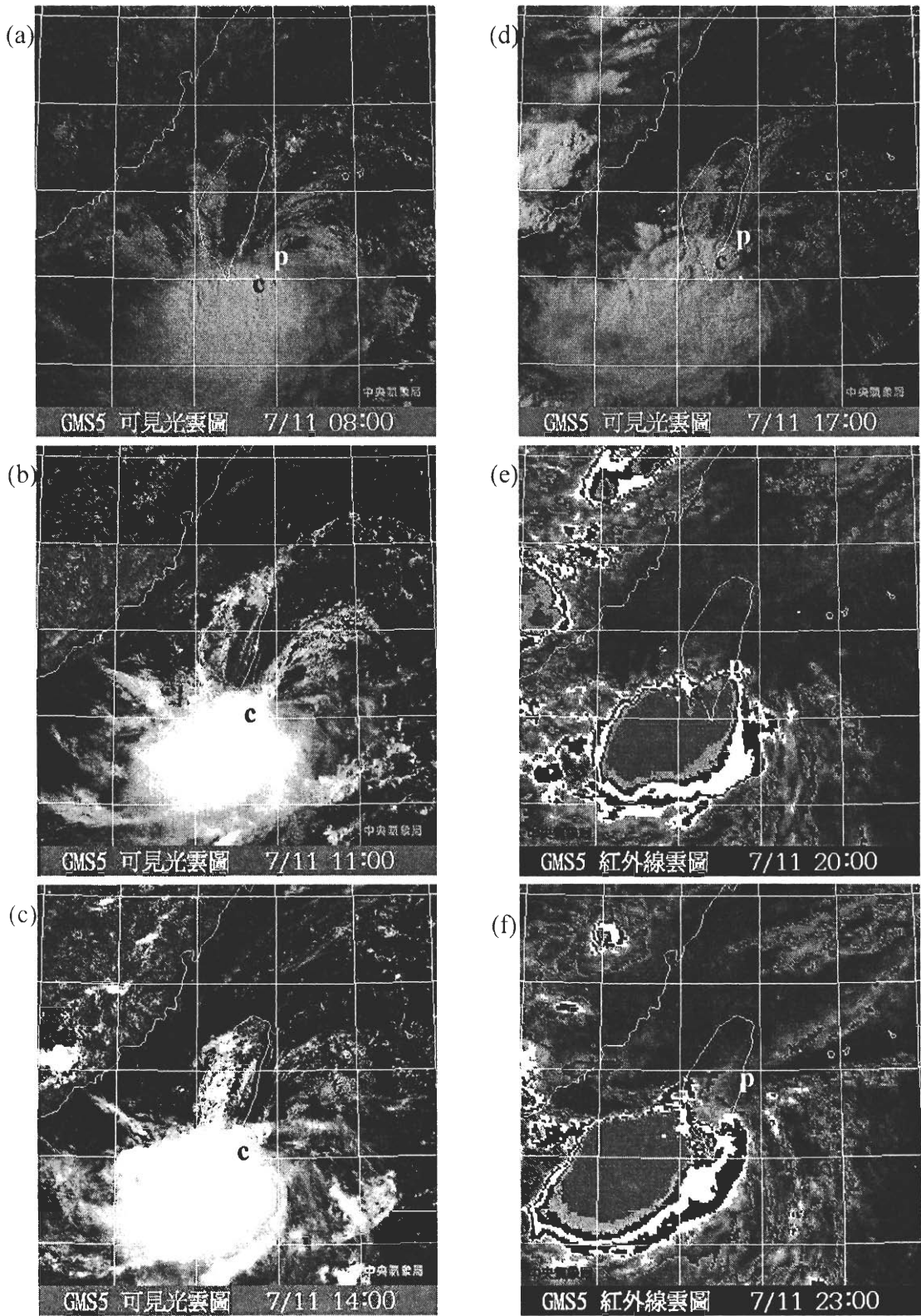


圖3 2001年7月11日(a)00Z(b)03Z(c)06Z(d)09Z之可見光及(e)12Z(f)15Z之紅外線衛星雲圖；圖中以' p '標註潭美颱風的海平面最低氣壓中心，以' c '標註高層環流中心。

多。然而，當潭美颱風登陸台灣後，其強度雖減弱為熱帶性低氣壓，但高屏地區卻出現豪雨，尤其是高雄氣象站之日雨量竟高達 470.5 公厘，創下近 40 年來該站之日雨量紀錄。此外，高雄縣鳳山及左營雨量站之日雨量亦分別高達 466.5 公厘及 436 公厘，造成大高雄地區發生嚴重的淹水。值得注意的是，如此龐大的降雨，絕大部份都集中在 5~6 小時內降下，短短時間即導致高屏地區至少近 3 億元損失（損失最慘重的仁武工業區金額約 2 億元）。圖 2 即為高雄、左營、鳳山及蘭嶼測站 7 月 11 日~12 日逐時降雨量之時間序列，可見發生在大高雄地區的降水量與降水強度皆明顯遠高於蘭嶼站，其中大高雄地區的降雨時間集中在 11 日上午半夜 (10Z~16Z) 發生。自 11 日 17Z 起，大高雄地區的雨勢才開始逐漸緩和、停歇；此時，熱帶性低氣壓也正由台南附近出海，進入台灣海峽南部。

(二) 衛星雲圖

7 月 11 日之衛星雲圖如圖 3(a,b,c,d 為可見光雲圖，e,f 為紅外線雲圖)所示，圖中並以“p”與“c”分別標註相對於圖 1 中的最低氣壓中心與高層環流中心。雲圖顯示，11 日上午 8 時(00Z)(圖 3a)，潭美颱風的環流中心約位於蘭嶼東南方近海；但結構與組織較好的雲系，大都分布在颱風環流中心的西南側與南側象限；颱風中心北側與東北側，則可見氣旋式環流所伴隨之線狀積雲。隨著潭美的逼近，雲系也漸進入台灣東南部與屏東、高雄地區，但較厚實的雲層，主要仍位於巴士海峽。有趣的是，標註“p”之最低氣壓中心(很接近 JTWC 當時的中心定位)附近皆為相對無雲區，標註“c”之高層環流中心(CWB 當時的中心定位)則僅位於雲區邊緣；由此顯示，潭美颱風的結構並不紮實，環流、氣

壓場及密雲區配置並不一致。

單純從上述之雲系演變，我們很難藉以推論，潭美颱風在台灣地區所造成之降雨分布。本文第三節中將分析，11 日下午屏東地區之降雨量，遠大於首當其衝的東南部地區；此外，大高雄地區降雨最劇烈時段 (10Z~16Z)，從衛星雲圖似乎不易察覺或研判其原因。甚至令人百思不解，為何該時段之劇烈降雨僅集中在大高雄地區，這些問題都是值得進一步研究。

(三) 研究動機

潭美颱風雖是小型且微弱的輕度颱風，生命期也僅 36 小時；但當其減弱為熱帶性低氣壓時，大高雄地區卻出現近 40 年來最劇烈之降雨，實屬相當特殊、有趣的個案。就學理上而言，潭美颱風的侵台過程，至少有以下幾點科學問題，值得進一步探討與分析。

- (1) 潭美颱風靠近台灣陸地時，垂直結構逐漸受地形影響，其路徑將如何變化？
- (2) 潭美颱風減弱為熱帶性低氣壓後，是透過那些物理過程，導致大高雄地區（尤其是市區內）發生劇烈降雨？
- (3) 熱帶性低氣壓通過南台灣時，其高、低層環流之運動軌跡與配置為何？大氣環境條件又為何如此有利於強對流發展？

這些科學問題之物理機制都相當複雜，本文將僅先從天氣分析觀點，進行現象描述；其中詳細的物理過程，有待進一步之雷達分析與數值模擬研究。

三、潭美颱風侵台過程

輕度颱風潭美在 7 月 11 日侵襲台灣地區，

侵台期間伴隨有中尺度渦旋在大高雄地區組織、發展;高、低層環流分離;以及氣壓場分布與環流結構不一致等現象，本節將透過觀測資料分析進行說明。

(一)地面氣壓場與環流結構

爲了得知潭美颱風侵台過程之最低氣壓中心軌跡，我們利用逐時地面觀測資料，加以主

觀分析(圖 4)；繪製氣壓場過程中顯示，成功與台東氣象站的海平面氣壓值，皆低於大武與蘭嶼氣象站，四者中以成功站爲最低。以圖 4(b)爲例，11 日 06Z 之各測站海平面氣壓值，除成功站(997.4hPa)與台東站(999.0hPa)以外，其餘測站皆高於 1000hPa(其中大武站爲 1000.7hPa，蘭嶼站爲 1001.9hPa)。所以主觀判斷，颱風之最低氣壓中心應由台灣東南部海面向西北方向

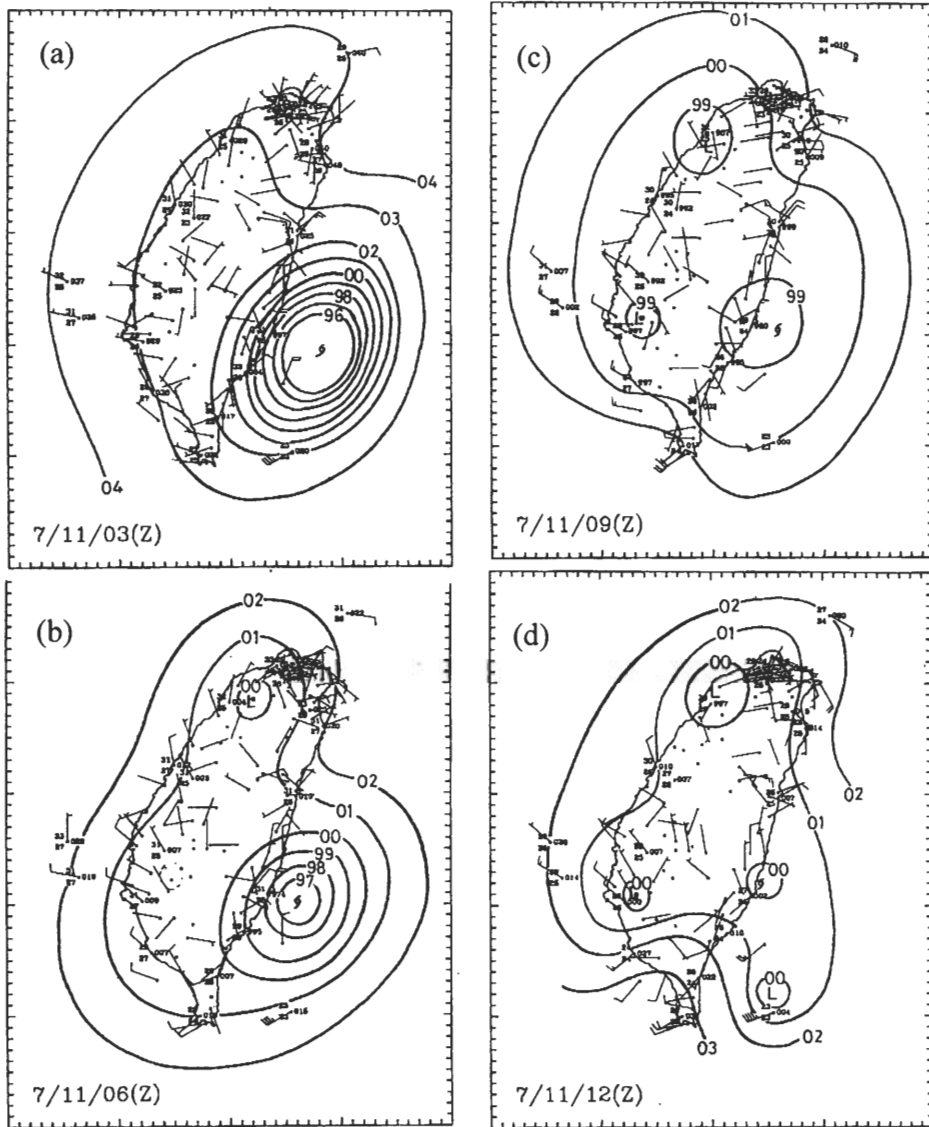


圖4 2001年7月11日(a)03Z(b)06Z(c)09Z(d)12Z之地面氣壓場分析。

行進；並於 12Z 左右由成功氣象站附近進入陸地(此軌跡接近 JTWC 當時的中心定位)，最低氣壓中心隨後向花蓮偏移，而位在台灣西岸之新竹、台南與高雄地區分別有副低壓形成。此結果是就觀測資料進行主觀詮釋，氣壓中心之定位與實際或有些許誤差；但已能讓我們了解海平面氣壓場的水平空間分布。雲區的分佈(圖 3)則顯示，颱風之主要對流雲系都在氣壓場的南側與西南側，最低氣壓中心附近則為相對無雲區；由實際觀測報告得知，成功氣象站於潭美侵台期間並未發生降水。

潭美颱風的環流結構，可由墾丁都卜勒雷達 2.4 度仰角之風場資料(圖 5)加以研判；圖 5 中同時標註出環流中心位置，中心之研判仍以主觀分析為主；方法是將地面觀測疊上都卜勒風場資料，由地面觀測風場配合雷達徑向風場，定出風場幾何中心。當然，所定的位置必須接近雷達徑向風場零值線，由此所定之中心與實際位置很可能存在誤差；但與氣壓場比較後可判斷，潭美颱風的環流中心與海平面最低氣壓中心並不一致。此外，雷達顯示高層環流中心持續朝西北向台灣東南岸靠近，並於 09Z 30 分

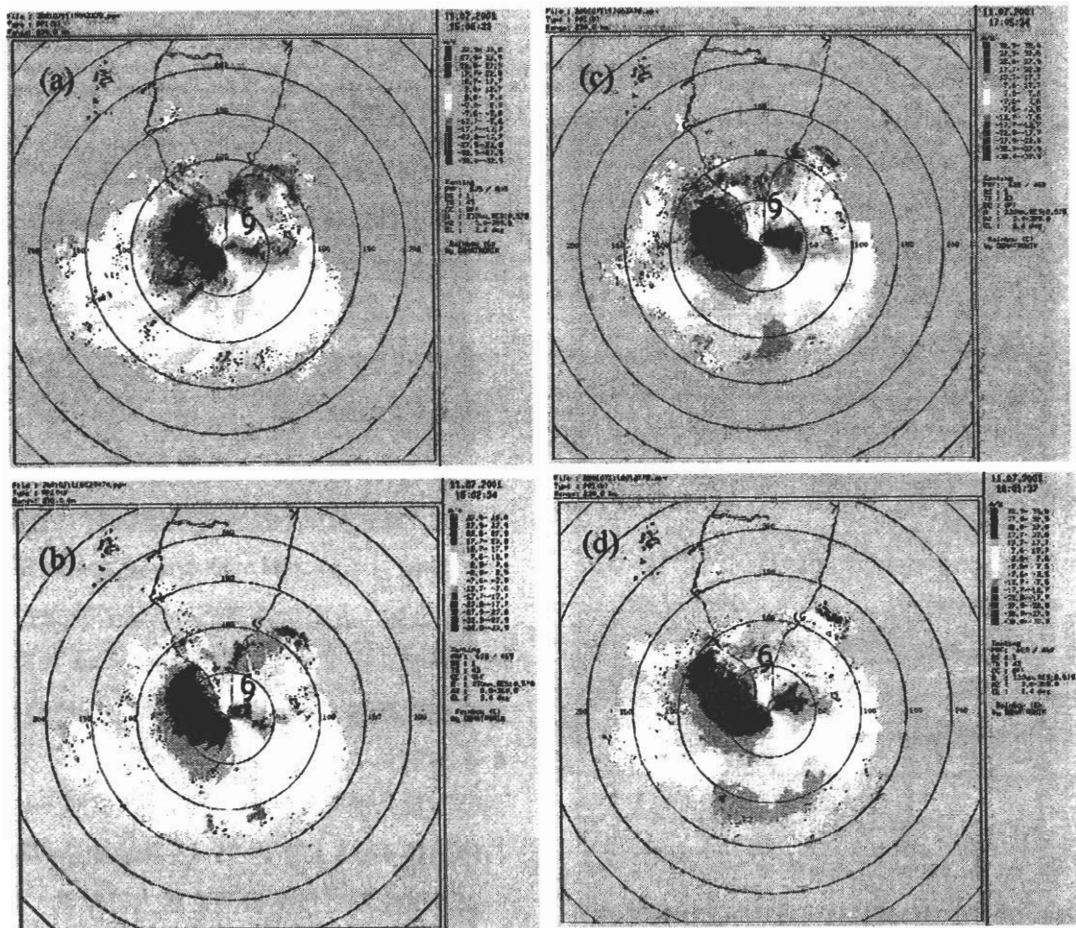


圖5 2001年7月11日(a)07Z(b)08Z(c)09Z及(d)10Z之墾丁都卜勒雷達2.4度仰角風場資料。

左右由台東縣大武附近登陸；但是，颱風之低層環流中心則可能在蘭嶼氣象站附近逐漸與高層環流中心分離。這樣的推論可由密集（5 分鐘間距）氣象站之平均風向、風速資料來說明。蘭嶼站資料（圖 6a）顯示，颱風的低層環流中心約於 11 日 00Z 50 分通過其南側，並向其西北方前進，使得蘭嶼的風向呈現順時針轉變，風場則自 02Z 50 分開始出現大於 7 級之西南風。潭美颱風雖然不強，但其環流侵襲蘭嶼地區時，仍造成豪雨（蘭嶼日雨量 185 公厘），並出現 12 級之強陣風。台東站（圖 6b）則約自 02Z 起出現相當規律之東北風，維持的時間長達近 4

小時；然而，由大武站資料（圖 6c）卻顯示，颱風低層環流中心並未向該站靠近，其風速微弱、風向不定的特徵，可研判大武站附近極可能處在“弱風尾流區（wake zone）”。除此測站資料外，預報作業當時亦參考墾丁雷達 0.5 度仰角資料，也顯示類似的結果。因此，就定性而言，低層環流中心並未跟隨高層環流中心從大武站附近登陸台灣，反而是於通過蘭嶼南側後，路徑很可能轉向偏北，與高層環流中心逐漸分離。根據上述資料，潭美在接近台灣地形時，出現兩個可能使颱風強度趨向微弱之現象；一為質量場（氣壓場）與動量場（環流）呈現分離，另一則是高、低層環流分離，歸納其概念性運動軌跡可見圖 1。

(二) 實際降雨分析

潭美颱風低層環流中心轉北運動，逐漸減弱為熱帶性低氣壓時，低層環境場漸轉為旺盛之西南氣流；配合颱風高層環流通過台灣地區，11 日下午起至深夜，南台灣出現劇烈豪雨，本小節將利用自動雨量站及墾丁雷達逐時資料，說明降雨之時空分布。

7 月 11 日 06Z~18Z 之逐時降雨分布如圖 7 所示，可知屏東地區首先出現豪雨；自 07Z~10Z 連續三小時之間，屏東地區的時雨量皆大於 90 公厘，此時大高雄局部地區亦開始出現豪雨。然而，此次大高雄地區創下近 40 年歷史紀錄之劇烈豪雨，主要發生於 11 日 10Z~16Z 的 6 小時期間；以左營站為例，10Z~13Z 三小時內時雨量分別為 95、107 及 126.5 公厘，佔其當日總雨量 436.5 公厘之 75%。高雄測站則在 14Z~15Z 間出現 119.5 公厘之最大時雨量，10Z~16Z 共降下 420.5 公厘，佔其當日總雨量 470.5 公厘之 89%。此次劇烈豪雨的降雨時段集中，

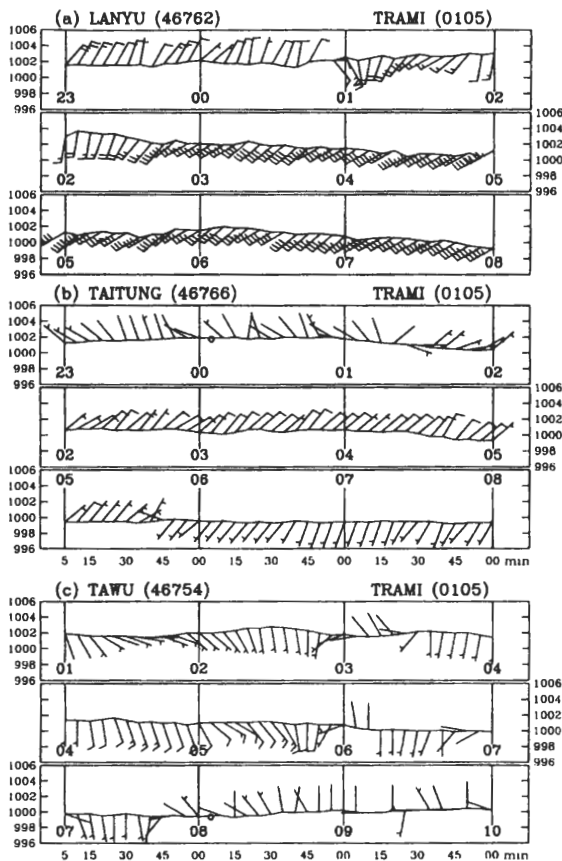


圖6 2001年7月10日23Z~11日08Z之(a)蘭嶼站(b)台東站，與11日01Z~10Z之(c)大武站每五分鐘觀測資料。

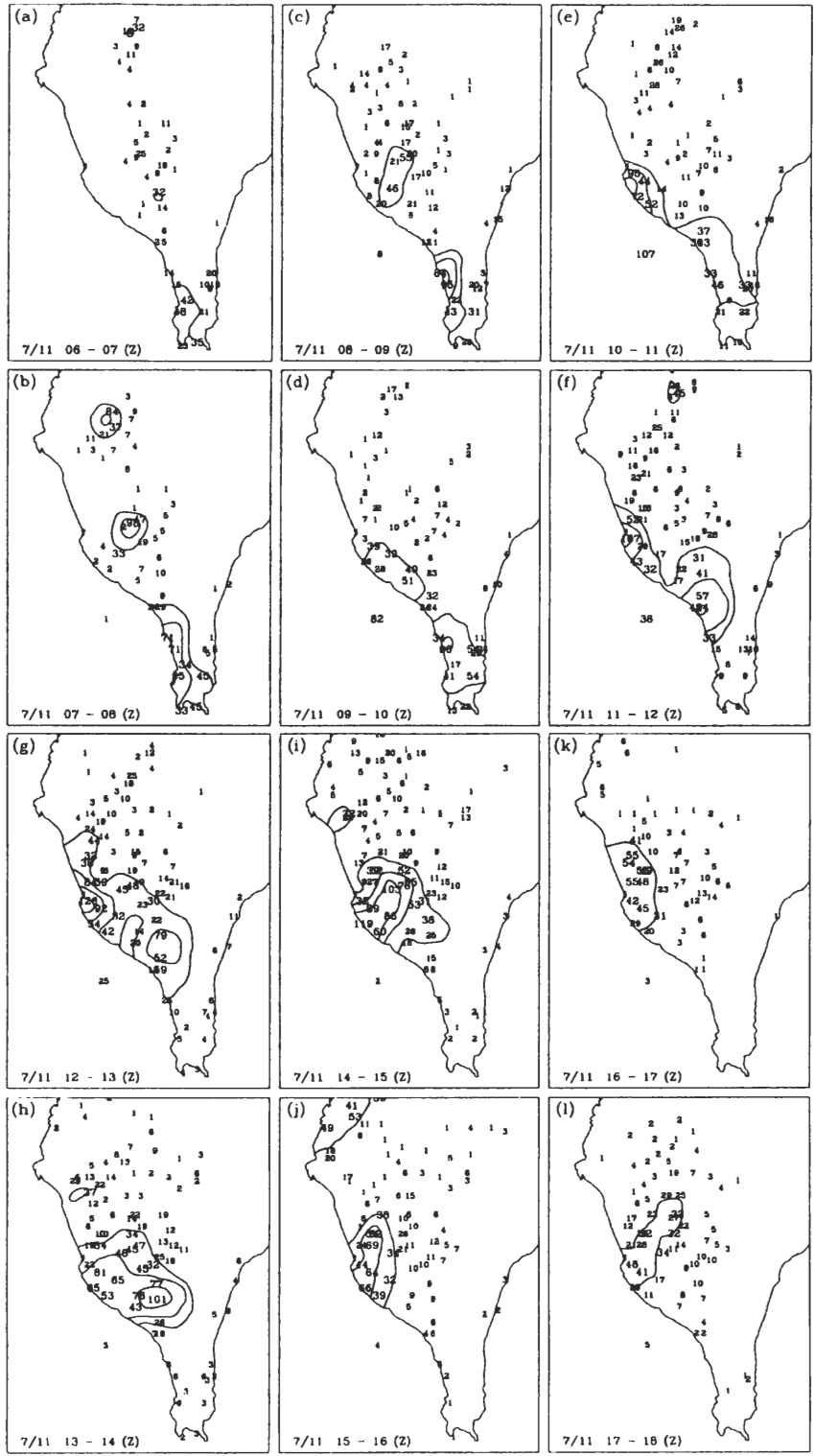


圖 7 2001 年 7 月 11 日 06Z~18Z 之逐時降雨量分析，圖中雨量等值線間距為 30mm。

降雨區域則隨時間逐漸向北擴展；探究其中原因，除了西南氣流外，熱帶性低氣壓內伴隨有中尺度渦旋發展，則是另一最主要因素，以下即針對中尺度渦旋系統進行探討。

(三)中尺度渦旋在大高雄地區發展之分析

圖 8 為 11 日 13Z~16Z 之南台灣地面觀測資料與氣流線分析，此時潭美颱風已減弱為熱帶性低氣壓；而台南、高雄地區則有一中尺度渦旋逐漸組織、發展，成熟後並朝台南附近移動。此現象可由高雄站與台南站之密集觀測資

料(圖 9)進一步說明，高雄站(圖 9a)資料顯示，中尺度渦旋於 09Z~10Z 之間即開始組織、發展；環流中心位在高雄站北側，使得該站風向由西北轉為西南西。經過約 2~3 小時，此渦旋逐漸發展成熟，台南站(圖 9b) 13Z 左右風向亦轉為東風，可知該渦旋正位於台南與高雄之間。墾丁雷達 2.4 度仰角之回波資料(圖 10)則顯示，發展成熟之中尺度渦旋，伴隨有強烈的對流雨帶分布於大高雄地區；因而導致左營站與高雄站分別出現 126.5 與 119.5 公厘之超大時雨量，其中，高雄站於 14Z，5 分鐘內就降下 14.5 公厘的雨量。

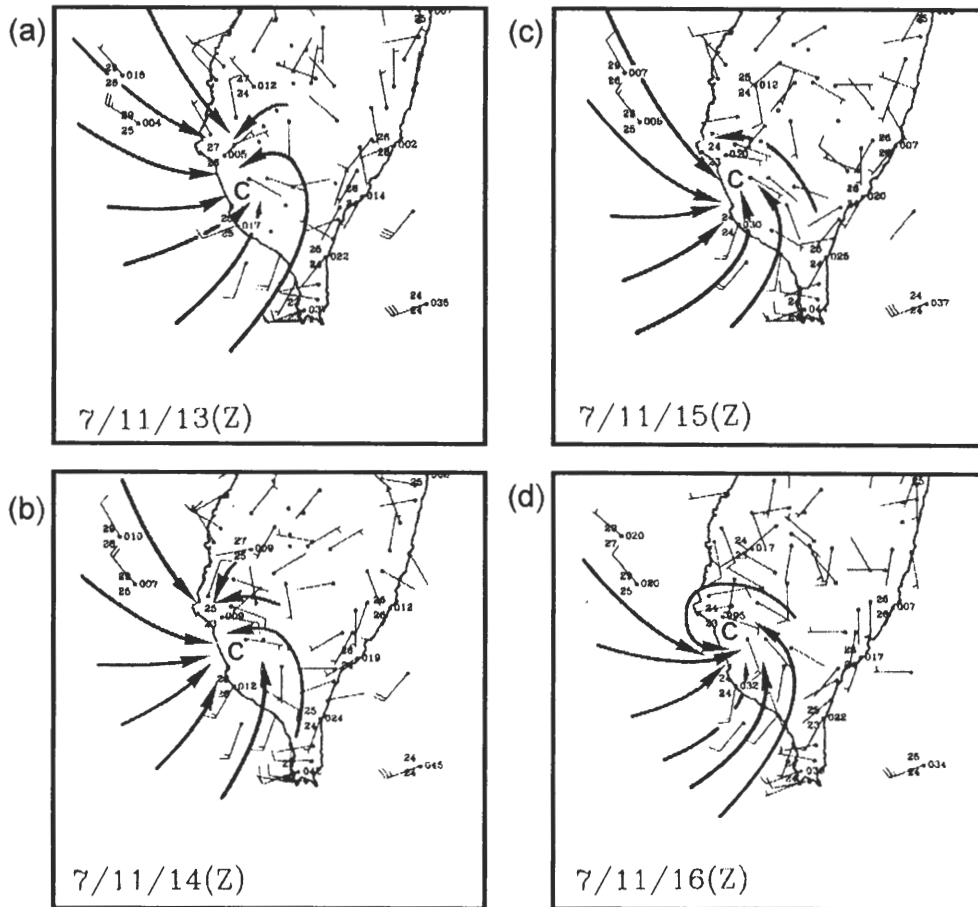


圖8 2001年7月11日(a)13Z(b)14Z(c)15Z及(d)16Z之南台灣氣流線分析。

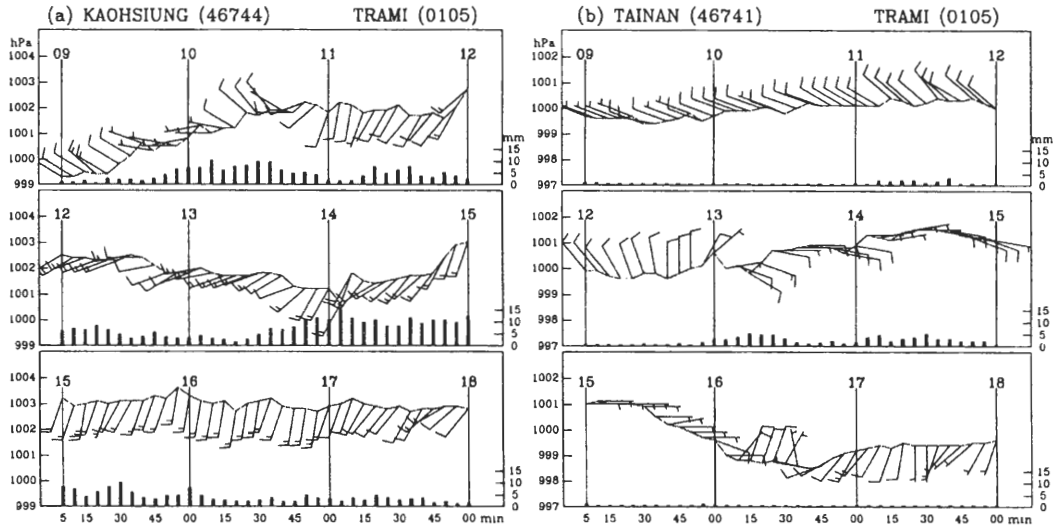


圖9 2001年7月11日09Z~18Z之(a)高雄氣象站及(b)台南氣象站每五分鐘觀測資料，其中降雨量(mm)以柱狀圖標註。

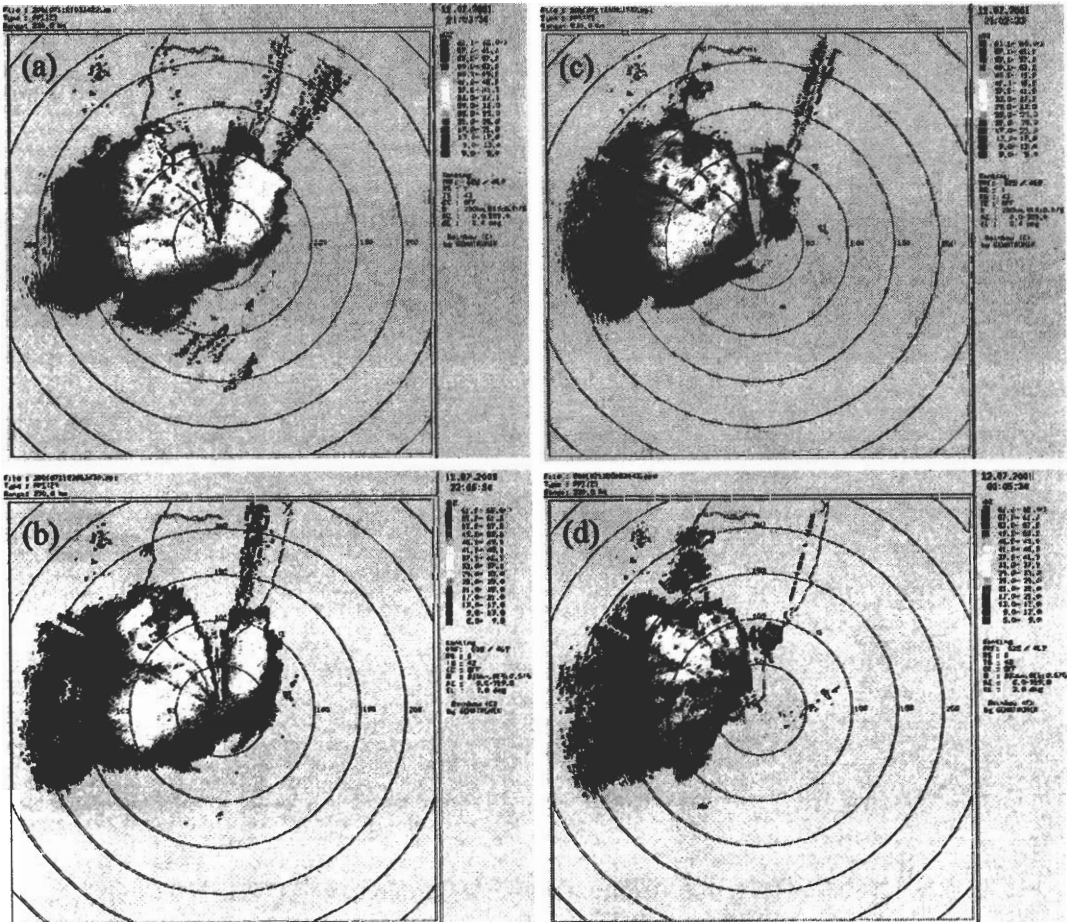


圖10 2001年7月11日(a)13Z(b)14Z(c)15Z及(d)16Z之墾丁都卜勒雷達2.4度仰角回波資料。

中尺度渦旋在大高雄地區組織、發展後，其運動可由台南站觀測資料 (圖 9b) 與逐時降雨分布 (圖 7) 進行研判。其中，台南站於 11 日 13Z~16Z 之間主要以東風為主，顯示此時渦旋一直徘徊在台南站南側；而 11 日 16Z~17Z 之風向轉變，則顯示渦旋正逐漸由台南站東側通過，並由其北側進入台灣海峽南部。降雨分布 (圖 7) 亦因中尺度渦旋向北運動，使降水區域逐漸向北擴展。上述中尺度渦旋的發展與運動，也可由墾丁雷達 2.4 度仰角之風場資料 (圖

11) 直接得到印證；當大高雄地區正發生劇烈豪雨同時，雷達風場可在該處分析出一中尺度渦旋 (尤其是 14:30Z 以後)，由於墾丁雷達對當地觀測之所在高度已高於 4 公里，故可推論此中尺度渦旋系統的垂直發展至少達 4 公里以上，渦旋伴隨之降水相當劇烈。

四、討論與總結

2001 年編號第 5 號颱風潭美，屬於小型且

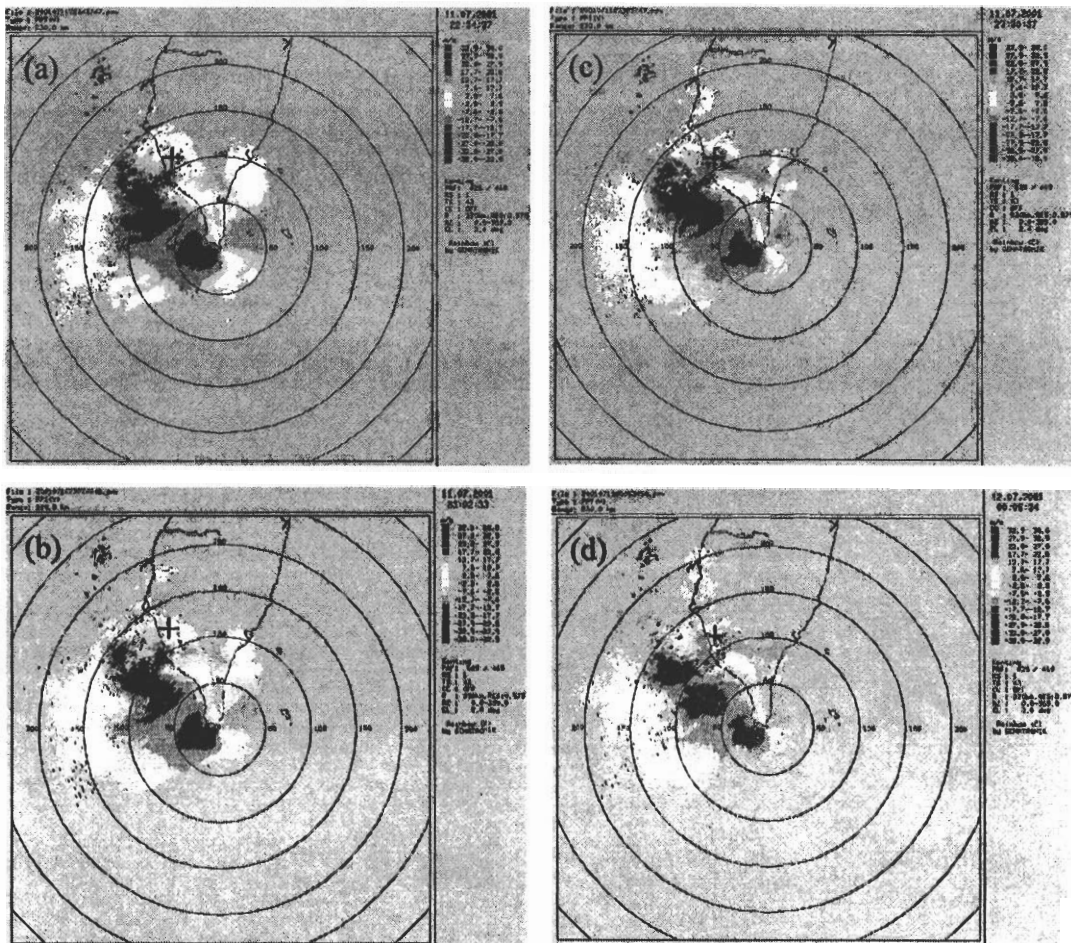


圖11 2001年7月11日(a)14:30Z(b)15:00Z(c)15:30Z及(d)16:00Z之墾丁都卜勒雷達 2.4度仰角風場資料。

微弱之輕度颱風，生命期僅 36 小時 (7 月 10 日 00Z~11 日 12Z)；強度最強時，中心最低氣壓只達 995hPa，近中心附近最大風速也只有 20m/s。但當潭美颱風逐漸減弱為熱帶性低氣壓時，南台灣卻出現劇烈的豪雨；尤其是大高雄地區，急促且劇烈的降水造成許多嚴重災情。本文即先就此颱風個案進行天氣分析與現象描述，透過觀測資料說明潭美颱風之侵台過程，以及大高雄地區發生劇烈降水的成因，綜合結果可歸納如下：

- (一) 當潭美颱風之環流中心通過蘭嶼氣象站南側後，其環流垂直結構開始受台灣地形影響，產生高、低層環流分離。其中，高層環流繼續向西北移動，通過台灣地區；低層環流則轉向偏北運動，並逐漸減弱、消失於台灣東南方近海。
 - (二) 潭美颱風所造成之降雨，為此個案最特殊、最值得再進一步研究的部份；觀測資料顯示，豪雨的發生過程可區分為三個階段：
 - (1) 階段一：颱風環流本身所造成的豪雨。主要僅發生在蘭嶼地區，降雨最明顯時段為颱風中心通過其南側之 3 小時內 (11 日 00Z~03Z)，蘭嶼 11 日雨量達 185 公厘。
 - (2) 階段二：低層環流轉北運動、逐漸減弱，南台灣地區低層引進旺盛之西南氣流，並與颱風高層環流相互配合，因而引發豪雨。此階段主要發生於 11 日下午之屏東地區與部份高雄山區，當日屏東的日雨量高達 373 公厘。
 - (3) 階段三：熱帶性低氣壓內伴隨中尺度渦旋之發展，因而造成豪雨。此亦為降雨最劇烈階段，主要發生於 11 日 10Z~16Z 的大高雄地區；中尺度渦旋在高雄站北側組織、發展，並伴隨著強對流雨帶，徘徊於高雄地區，因而使高雄站降下 470.5 公厘之驚人雨量。透過墾丁雷達觀測亦證實，該中尺度渦旋系統垂直發展高度至少有 4 公里以上；推論其成因，此次大高雄地區之劇烈豪雨，與陳(1993)的第(2)類型颱風豪雨相似，此外，颱風渦度是否具正壓不穩定度？引發之位渦混合機制 (Schubert et al.,1999；Montgomery et al.,2000；Kossin and Schubert,2001)，是否為該中尺度渦旋形成之動力機制？發展期間之物理過程又如何運作？這些問題相當值得再進一步研究。本階段具有降雨時間急促、發生區域局部且不規則之特性；不易應用現今之氣象科技進行準確預報，未來應就中尺度動力過程加強研究與了解，以提升預報能力。
 - (三) 由地面觀測及雷達資料顯示，中尺度渦旋系統在大高雄地區組織發展，成熟後則緩慢向北運動；繼而由台南站東側經過，再自其北側出海。渦旋進入台灣海峽後，南台灣之降雨才逐漸緩和。
- 最後，我們就颱風預報作業的角度來探討；首先，以路徑而言，中央氣象局對潭美颱風的路徑預測相當準確，對於強度微弱之輕度颱風，過去亦有許多個案出現高、低層環流分離之過山路徑。其次，就豪雨預報而言，11 日上午蘭嶼地區之豪雨，是由颱風環流本身所造成；11 日下午在屏東與高雄山區的豪雨，則因颱風逐漸減弱後，西南氣流增強所引發；這兩類颱風豪雨，實務作業上已有一定程序可進行研判與預測，故可合理、確切的掌握。然而，大高雄地區伴隨中尺度渦旋所產生之劇烈降

水，由於系統的空間（數量級約 10 公里）、時間（約數小時）尺度均較小；其動量場及質量場之變化與調整也較迅速，學理上對其結構之演變亦較難於預測。所以，欲精確預報此劇烈降水之發生時間、發生位置與降雨量，就目前氣象科技而言，仍相當困難。本文僅先以天氣分析觀點，就觀測資料來說明此中尺度渦旋之運動與降雨分布；至於渦旋組織發展之物理機制，則有待未來再進一步研究。

誌 謝

承蒙台大李清勝教授與郭鴻基教授之參與討論和費心指正，使本文獲益良多，此外預報中心所有同仁及墾丁雷達站之支援與協助亦在此一併致謝。

參考文獻

- 王時鼎、顏清連、陳泰然與謝信良，1986：台灣颱風降雨特性及其預報研究（三）。國家科學委員會防災科技研究報告，74-51，152 頁。
- 吳宗堯與謝信良，1990：現有颱風預報研究成果作業化之研究（三）。國家科學委員會防災科技研究報告，79-37，137 頁。
- 陳泰然、李清勝、王時鼎、紀水上與周仲島，1993：豪雨預報技術改進之研究颱風部份研究計劃。交通部中央氣象局 82 年委託研究計劃，CWB82-2M-10，276 頁。
- 葉天降、吳石吉與謝信良，1999：簡單統計方法於台灣地區颱風降水預測之研究（一）預測方法與台北颱風降水之預測校驗。大氣科學，27，395-412。
- 葉天降、謝信良與吳石吉，2000：簡單統計方法於台灣地區颱風降水預測之研究（二）預測結果隨區域之分布。大氣科學，28，263-278。
- Blackwell, K. G., 2000: The evolution of Hurricane Danny (1997) at landfall: Doppler-observed eyewall replacement, vortex contraction/intensification, and low-level wind maxima. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 4002-4016.
- Kossin, J. P., and W. H. Schubert, 2001: Mesovortices, polygonal flow patterns, and rapid pressure falls in hurricane-like vortices. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 2196-2209.
- Montgomery, M. T., J. M. Hidalgo, and P. D. Reasor, 2000: A semi-spectral numerical method for modeling the vorticity dynamics of the near-core of hurricane-like vortices. Atmospheric Science Paper 695, Dept. of Atmospheric Science, Colorado State University, 56 pp.
- Schubert, W. H., M. T. Montgomery, R. K. Taft, T. A. Guinn, S. R. Fulton, J. P. Kossin, and J. P. Edwards, 1999: Polygonal eyewalls, asymmetric eye contraction, and potential vorticity mixing in hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 1197-1223.

Weather Analysis of Violent Rainfall Event in Kaohsiung Area by Tropical Storm Trami(2001)

Shieh Shinn-Liang Jian Guo-Ji Wang Shih-Ting

Central Weather Bureau

(Manuscript received 24 December 2001 ; in final form 08 September 2002)

ABSTRACT

This article uses Doppler radar · satellite and surface observational data, on the weather analysis point of view, describing the weather phenomenon during tropical storm Trami(2001) passed through Taiwan. Trami was a small and weak tropical storm in its 36 hours lifetime. For the heavy rainfall induced by Trami, it could be divided into three stages. The first stage produced by Trami's circulation and occurred at Lanyu in the morning of 11 July. The second stage caused by the intensification of southwest flow as Trami's low level circulation was weakened, heavy rainfall appeared in Pington and Kaohsiung's mountain area in the afternoon of 11 July. The third was the most violent rainfall stage, though Trami had weakened into a tropical depression, due to the formation and development of a mesovortex in it. Such devastating rains occurred in Kaohsiung area at night of 11 July, and resulted in record-breaking daily precipitation at Kaohsiung station(up to 470.5mm) in recent forty years. One noticeable thing was more than 89% rainfall concentrated between 10UTC and 16UTC 11 July, that perceived hasty and fierce character in this stage.

Doppler radar and surface observational data showed that the mesovortex, which produced devastating rains in stage three, organized and developed in Kaohsiung area time before midnight of 11 July. It moved northward slowly then, the accompanying heavy rainfall area extended northward also. After that, the mesovortex passed eastside of Tainan station and entered Taiwan strait from north of Tainan between 16UTC and 17UTC. The precipitation eased at last. As for the track, on the weather analysis point of view here, Trami's circulation possibly appeared vertical decouple as it approached Taiwan. Its low level circulation weakened and vanished in southeast coastal waters of Taiwan, but the high level circulation moved toward northwest with continuous track passing through Taiwan topography.

Key words : Tropical storm Trami, Heavy rainfall, Mesovortex