

SoWMEX 期間南臺灣豪雨事件之個案研究

紀水上 黃勝安

中央氣象局

摘要

本研究利用衛星雲圖、逐時雨量和地面中尺度分析，針對異於氣候降雨型態之 2008 年 6 月 5 日南臺灣大豪雨事件進行分析，包括降雨、中尺度渦旋，以及 MCS 和中尺度渦旋與此豪雨之關係等。結果顯示，此次南台灣 $\geq 130\text{mm}$ 之豪雨分布是普遍性的，但 $\geq 200\text{mm}$ 之大豪雨集中在西南部和東南部平地，其較大雨勢分別集中在 13-15 時及 17-19 時。平地大雨發生時間較山坡及高山為早且較大降雨強度之延時也較長。

MCV 為鋒面低壓內的渦旋，並無伴隨西南氣流，僅將其周圍氣流拉入中心，此可由可見光雲圖中的低雲線走向得知。因此，它在此次大豪雨事件中，並無扮演致雨的機制。分析又顯示，雲線旋入越明顯，即進入 MCV 的冷乾空氣越多，MCV 強度就減弱越快。MCV 中心與對流雲深對流區的距離越近，強度越強，反之則越弱，此與熱帶氣旋切變型風暴的特性類似。

導致南台灣平地大豪雨之降雨系統，除原有的 MCS 外，主要由低壓環流與東方高壓環流的輻合而來。楔狀雲是本豪雨系統的主要雲型，伴隨新對流的形成而使降雨系統向上游發展、滯留或向東緩慢移動，而導致南台灣的普遍性豪雨。

關鍵詞：大豪雨、中尺度對流系統、中尺度渦旋、楔狀雲

一、前言

在 1998 年 5~6 月「梅雨期豪雨實驗 (MYEX-98)」後，隨即整合為期 10 年 (2000-2010) 的「臺灣天氣研究計畫 (Taiwan Weather Research Program; TWRP)」。

在 TWRP 架構下成立台灣地區災變天氣研究群，並執行綠島中尺度氣象實驗 (GIMEX)、定量降雨系集數值預報模擬實驗 (MEFSEA)、小型西南氣流實驗，以及 2008 年之國際大型西南氣流實驗。

過去 10 年間，臺灣超大豪雨 (24 小時雨量 $\geq 350\text{mm}$) 發生區域似有南移、降雨強度增強且區域集中的現象，例如 2004 年之「七二水災」、2005 年之「五二一水災」和「六一二水災」，以及 2006 年之「六九水災」等。由於台灣上游之南海北部及台灣海峽洋面上，地面及高空氣象資料 (如西南氣流的風向風速以及相伴隨之水氣和溫度等) 嚴重缺乏，對這些由西南氣流所導致豪雨系統缺乏了解，致使豪雨預報有較大的不確定性。因此，為提升豪雨系統之監測與預報能

力，規劃「西南氣流觀測及豪雨預報實驗計畫 (Southwest Monsoon Experiment, 簡稱 SoWMEX)」，該實驗除整合國內學術界和作業界外，亦尋求國外氣象界的參與。美方為爭取該國國家基金會的支持，稱此實驗為「地形引發季風降雨實驗 (Terrain-induced Monsoon Rainfall Experiment; TiMREX)」。

西南氣流實驗，又稱「追雨實驗」，是由台灣主導的一個國際氣象野外觀測實驗，也是台灣第一次針對夏季風西南氣流盛行期間造成豪大雨天氣之「中尺度對流系統」 (Mesoscale Convective Systems) 的基礎科學研究。該實驗在 2008 年 5 月 15 日至 6 月 25 日執行，動員國內外學者、專家及學生近 300 人次，進行完整的海、陸、空密集氣象觀測。本次實驗共計執行 9 次密集觀測 (IOP)，經歷 3 次大豪雨事件 (24 小時雨量 $\geq 200\text{mm}$)，兩次在高雄，一次在雲林 (周，2009)。

IOP-6 (6 月 4 日 1800UTC~6 日 1200UTC) 期間，大豪雨發生於南臺灣，特別在臺灣西南及東南部平

地，其降水分布與氣候資料（紀，2006）大異其趣。迄今，已有諸多研究者對此個案進行探討，例如 Lai et al. (2010)，廖和李（2009），林和林（2009）等。然而，導致此豪雨事件之天氣系統非常複雜，有梅雨鋒面、鋒面氣旋、中尺度對流系統及中尺度渦漩（Mesoscale Convective Vortex；MCV）等。然而，上述研究者都僅對發生於梅雨鋒區的MCV有興趣，有僅著重模擬研究（如廖和李，2009；Lai et al., 2010）或只做綜觀環境探討（如林和林，2009）。至於降雨特徵、MCS和MCV之形成、加強與移動過程，和MCS及MCV與降雨之關係均缺少探討。紀和齊（2011）甫對導致本豪雨事件之豪雨系統-MCSs詳細分析。本文將就前述研究者未探討的現象進行詳細分析，希望對上述之天氣現象有所了解，進而將結果提供梅雨期豪雨預報參考。

二、資料及研究方法

本研究目的在探討 IOP-6 之降雨特徵、MCV 之演變，及 MCS 和 MCV 與降雨關係，所用資料包括逐時雨量、半小時間距之衛星雲圖及三小時間距之地面和 12 小時間距之 925~200hPa 高空天氣圖。

在雨量分析方面，以 120.8°E（約中央山脈最高區）為界，將南臺灣分為東西兩部；西部又分為北區（和順至岡山）、中區（新園至南州）和南區（力里以南）；東部分為北區（太麻里以北）和南區（太麻里以南）；同時也將東港至力里以南之臺灣南端分為東西兩部，分別探討各區降雨特性。本研究又分別取台南、岡山和高雄以北及以南各 0.5 個緯度內各雨量觀測之東西剖面，以探討 MCS 移經地點之降雨分布。同時也將地形分為平地（高度 < 200m）、坡地（高度 200m-1000m）、高山（高度 > 1000m），以了解雨量隨高度分布特徵。南臺灣雨量站網及各分區見圖 1。

衛星雲圖顯示，伴隨本 MCV 個案之雲系由發展很低的積雲或層積雲線組成。此種雲系因雲頂溫度低，很難顯示於紅外線雲圖上，但因其具有某種程度的反照度（abedo），因此在可見光雲圖中卻清晰可見。低雲線走向幾與低層氣流一致，因此可利用可見光頻道之特性來確定 MCV 的中心位置。為使讀者更清楚看到 MCV 和小雲漩的特徵，圖 2 為兩幅同時間

的可見光雲圖，左圖有兩個清晰可見的渦漩，位於西邊較大者為 MCV，而東側近對流雲者本文稱之為小雲漩（cloud eddy）以示區別。右圖中的「●」及「*」分別為 MCV 和小雲漩的中心。本文以可見光雲圖確定 MCV 及小雲漩的中心位置，並追蹤其移動情形。至於紅外線雲圖、綜觀天氣分析及中尺度分析均利用紀和齊（2011）者，在此不再贅述，以省篇幅。

三、結果

1. 降雨分析

圖 3 為 2008 年 6 月 5 日南台灣日雨量分布。圖中「●」為日雨量 ≥ 200mm 的雨量站，周圍直條圖為這些雨量站之逐時雨量變化。該圖顯示，≥ 200mm 雨區主要分布在臺南和高雄沿岸及台東和屏東沿岸，而氣候上的多雨區（高屏山區）反而較少。2008 年 6 月 5 日南臺灣大豪雨（24 小時雨量 ≥ 200mm）各氣象站之逐時雨量見表一。圖 3 及表一顯示，西部的逐時雨量顯示，深夜至清晨僅零星降雨，至 9 時起才有明顯的雨勢，此時雨量 ≥ 5mm 的雨量站僅高雄和鳳森兩處，而 ≥ 10mm 的雨量站，除台南媽祖廟和高雄站在午前 11 時外，其餘均於午後才開始，尤其媽祖廟站於 11 時的雨量達 20.5mm，在 13 時稍減弱外，其強度持續其強度至 17 時，並於 16 時達最強，為 62.5mm，於 19 時後快速減少。

由雨量之時序變化，媽祖廟站之雨量具有兩個高峰，分別為 11-12 時及 16 時，而以 16 時為主。在其東南邊的溪埔，雖在 9 時起時雨量就達 5.0mm 以上，但均於 10.0mm 以下，尤其在 13 時之雨量才 4.0mm。之後，快速增加，於 15 時達最大（41.0mm）後減少，但於 18 時達次大（40.0 mm），於 19 時後雨量迅速減少。換言之，該站之雨量隨時間變化亦有雙峰的現象。

鳳山、高雄和鳳森三站均於 13 時快速增加，並於 14 時達最大，尤其以高雄站為最，為 86.5mm；鳳森次之，為 65.5mm；鳳山最少，但也有 58.5mm。值得一提的是，鳳森的豪雨延時較其他兩站多一小時，且較連續。此三站均於 17 時後雨勢迅速減弱，惟鳳山站於 18 時再度急速增加，而形成和媽祖廟及溪埔具有雙峰的現象。至於東南臺灣也類似西南臺灣的現象，自 9 時起雨勢就為明顯，雨量也和前者相當，但較集中豪大雨的時刻則較晚，除知本在中午前後前就

有較大的雨勢外，其他均在 15 時起才快速增加，並持續至午夜前，雨量最集中時刻在 17-20 時。

上述各站均有連續三小時豪雨發生，在西部分別為媽祖廟 123.0mm (15-17 時)、溪埔 90.5mm (14-16 時)、鳳山 133.0mm (13-15 時)、高雄 169.0mm (13-15 時) 和鳳森 166.5mm (13-15 時)。東部為知本 81.0mm (15-17 時)、土阪 70.5mm (18-20 時)、大武 96.5mm (18-20 時)、南田 115.0mm (17-19 時) 和壽卡 111.0mm (17-19 時)。若統計連續六小時，西部之媽祖廟 162.5mm (12-17 時)、溪埔 165.5mm (14-19 時)、鳳山 187.0mm (13-18 時)、高雄 207.0mm (11-16 時) 和鳳森 201.5mm (11-16 時)。東部之知本 132.5mm (15-20 時)、土阪 116.5mm (15-20 時)、大武 142.0mm (15-20 時)、南田 172.0mm (15-20 時) 和壽卡 152.5mm (15-20 時)。顯見此次豪雨事件，大雨均很集中，尤其是在西南台灣，此種現象極易造成洪患應特別注意。

圖 4 為西部地區各高度雨量分布，就全區而言，平均雨量由平地（高度 < 200m）向高山（高度 > 1000m）減少，且高山的雨量遠低於平地，而山坡（高度在 200~1000m）則稍低於平地。就各分區而言，除南區山坡的雨量高於平地外，其它各區的雨量均以平地為多，坡地次之，而高山最少。然而，必須注意，北區高山和南區山坡各僅一站，其代表性不足。南台灣及其各區不同高度逐時雨量變化如圖 5 及圖 6。就全區而言，平地大雨發生時間較山坡及高山早約 1 小時，而達最大值，平地（13~14 時）較山坡及高山（20 時）則提早 7 小時，且平地之時雨量 $\geq 15\text{mm}$ 的延時（約 5 小時）遠較其他兩區（僅 1 小時）為長。各分區不同高度之分布，除南區外，其餘兩區與全區相似（見圖 6）。

東南部之降雨，南區（149.6mm）與北區（142.1mm）相當，為南區稍多（見圖 7a）。而南端降雨分布形式就有所差異，東南角（170.1mm）遠比西南角（120.2mm）為多（見圖 7b），此與氣候值也有差異。南北兩區之逐時分布（圖 8）型態相似，而南區時雨量達大值（17 時）較北區（21 時）為早，時雨量 $\geq 15\text{mm}$ 南區之延時（17~19 時）較北區（21 時）為久。南端降雨之逐時變化顯示（見圖 9），東西兩區之逐時分布型態相似，但雨量值則大異其趣。西南角時雨量達大值（17 時）較東南角（18 時）稍早，時

雨量 $\geq 15\text{mm}$ 之延時，西南角僅 1 小時（17 時），而東南角有 5 小時（15 時及 17~20 時）較久。

南臺灣雨量分布之東西剖面亦分析如圖 10。在台南至東河剖面（圖 10a），東部山坡及東部平地僅各一站，代表性稍差。該圖顯示，西部平地雨量最多，且遠比山坡及高山為多；山坡次之，高山最少，但山坡和高山的雨量僅差 1mm 而已。在岡山至台東剖面（圖 10b），東部山坡及東部平地之測站僅分別為 2 個及 1 個，因此和前一剖面同為代表性問題，而西部平地至高山降雨量相當，但以山坡（147.5mm）比高山（145.0mm）和平地（144.0mm）為多。高雄至金倫剖面（圖 10c），西部山坡及高山均無雨量站，而東部山坡及東部平地則有較前兩剖面有更多的雨量站，較有代表性。圖 10c 顯示，東部有比西部平地較多的雨量。

各剖面不同之逐時雨量變化見圖 11。在台南剖面上（圖 11a），中央山脈以西，在山坡及高山並無雨量站，就西部平地而言，在時雨量達最大值（14 時）前，即有明顯的降雨，但都在 5mm 上下，惟至 13 時才有 $> 10\text{mm}$ 。至達最大值後，豪大雨（ $\geq 15\text{mm}$ ）之延時達 5 小時（14~18 時）；東部之時雨量變化，山坡與平地相仿，且其時雨量 $\geq 15\text{mm}$ 之延時均約為 5 小時（16~20 時），且均於 16 時達最大值，惟平地之時雨量較山坡為大。

在岡山剖面（圖 11b），在西部平地時雨量於 14~15 時達最大（ $\geq 20\text{mm}$ ），之後其時雨量在 10~15mm，維持至 19 時，之後快速減弱後停止。在 18 時前，平地之時雨量均較山坡及高山為大，之後則相反。山坡及高山地區也分別於 18 時及 19 時達時雨量最大值。東部之山坡及平地雖於 12~13 時起就有較大時雨量，15 時之後就快速增加，於 16 時達最大，其較大雨量持續至 20 時。而東部平地又在 21 時達時雨量最高峰後快速減弱為小雨。

在高雄剖面（圖 11c）之西部，山坡及高山均無雨量站。在西部平地，8 時起就有明顯的降雨，惟其雨量僅在 5mm 上下，自 12 時起才有明顯而快速增加，至 14 時達最大值，並持續其降雨強度（約 15mm）至 19 時，之後快速減弱或停止。東部山坡與平地之分布型式相仿，惟平地降雨強度較大。

2. 中尺度渦旋分析

一般而言，中尺度渦旋是中尺度對流系統內的低

壓中心，為寬僅約為 50-100 公里，深在 1.5-5 公里的圓核。這個孤立的小尺度系統經常在一般的天氣分析中被遺漏，但它有時可變為下一個雷暴爆發的種子，當它移入熱帶洋面，能成為熱帶風暴或颱風。成熟的雷暴雲系中，可以顯現三種重要的天氣系統（見圖 12），分別在近對流層頂和邊界層因對流雲的上衝流（updraft）和下衝流（downdraft）所造成的中尺度高壓（meso high），以及在中對流層因氣柱的拉伸而形成的中尺度低壓（meso low）（Bader et al., 1995）。圖 12 指出，在大氣邊界層由下沉氣流造成的地面輻散場內有一個 Meso- β 天氣系統的冷高壓，暖濕空氣沿前方輻合區上升；在 700 hPa 附近輻合達最大值並伴有較明顯的暖的中尺度低壓，強上升運動可貫穿整個對流層；在對流層頂附近則為強輻散氣流相伴隨的 Meso- α 天氣系統的冷高壓。在中尺度對流系統內的低壓中心就是我們所熟知的中尺度渦旋。

衛星資料顯示，本個案之 MCV 並非發生於 MCS 內，而在 MCS 西側且距離對流雲有數十公里之遙。是一個發展很低層的渦旋，伴隨此 MCV 之雲系為發展很低的積雲或層積雲線，因其雲頂溫度低，紅外線雲圖不易辨認，而因具有高的反照度，因此在可見光雲圖中清晰可見（參見圖 2）。而此兩渦旋均在鋒面氣旋內（圖未示）。

動態衛星雲圖（未示）及連續雲圖（圖 13）顯示，MCV 於 4 日 2157UTC 形成後先向東移動後向西，於 2313UTC 轉向南移動，在 5 日 0030UTC 後轉向東南至東移動（見圖 14a）。由於此 MCV 雲系屬於低層，因此其雲頂溫度高，與海面溫度對比小，因而在紅外線雲圖不易辨識，導致其形成時間與消散時間不甚清楚。然而可見光雲圖所辨識的環流及結構，該氣旋約於 4 日 2157UTC 形成，5 日 0957UTC 消失於台灣西南沿海。此氣旋尺度雖小且強度不強，但其生命期達 12 小時以上。

5 日 0130UTC，在 MCV 之東方數十公里處，另有一小渦旋形成，本文稱其為小雲漩（cloud eddy）。該雲漩在 MCV 向東移動期間也向東移動（見圖 14b），於 5 日 0730UTC 抵達台南近海後登陸，至消失前均位於中央山脈以西的南台灣（見圖 13）。

若以環繞 MCV 雲系清晰度來定其強度，MCV 於 4 日 2157UTC 形成後開始加強，至同日 2330UTC 達最強後開始減弱，至 5 日 0530UTC 後減弱程度更為明顯，0957UTC 消失於台灣西南沿海。由圖 13 觀之，

在形成後至減弱初期（4 日 2157UTC~5 日 0030 UTC），伴隨 MCV 之雲線均呈準圓形環繞期中心，但至開始減弱後，有一條雲線從台灣海峽旋入 MCV 中心，該雲線越明顯則 MCV 之強度就越弱。由紀和齊（2011）之分析顯示，該區為乾區，而此雲線可指示因 MCV 的旋轉，將冷乾空氣帶入，致使 MCV 減弱。MCV 在 MCS 西側形成與加強，本文將各時間的 MCV 中心繪於紅外線雲圖如圖 15，來探討此兩者有無相關聯。圖中「·」為 MCV 中心，MCV 東方為造成南台灣大豪雨的 MCS。該圖顯示，在 MCV 形成至最強時，其中心距離 MCS 深對流區較近，當中心開始遠離深對流時，則強度也開始減弱，距離越遠強度越弱。此種現象與熱帶氣旋之切變型（shear pattern）（高低中心分離型）（參見圖 16）（Dvorak, 1995）相似。

由衛星分析得知，MCV 伴隨低層雲線，本文分析用三小時間距地面天氣圖及幾乎同時間的紅外線和可見光雲圖（如圖 17），以了解它與低層氣流之關係。圖 17 顯示，氣旋中心以西的低壓槽呈東北-西南走向，而以東者則呈西北-東南走向，此種氣壓型式顯示氣旋係於梅雨鋒上形成。最強氣壓梯度在氣旋東側，此區正是鋒面氣旋與在其東方梅雨鋒後的高壓/MCS 引發之中尺度高壓所致。天氣圖及衛星雲圖均顯示，氣旋中心先向東北移動後向南，於 5 日 0300UTC 後轉為東南向後向東至東北東移動（見圖 17c~e）。衛星雲圖顯示，在南台灣之深對流係由伴隨鋒面氣旋的氣流與陸風/山風或對流引發的中尺度高壓外流（見圖 17a 及 17b），以及鋒後高壓的東南風（見圖 17c-e）產生的輻合所致。

圖 18 為將 6 月 5 日 0300UTC 之地面低壓線描繪於幾乎同時間（0330UTC）之可見光雲圖。該圖顯示，MCV 和小雲漩均為氣旋內的小渦旋，渦旋中心與地面氣旋中心一致，然而伴隨 MCV 之低層雲線則穿越過等壓線直接旋入 MCV 中心。由此可見，MCV 是將氣流拉成一旋轉類型或渦旋（vortex），使氣流旋入低壓中心（見圖 18），而與在其東方約數十至百公里之 MCS 關係不大，顯然它並未帶來西南氣流而強化南台灣的降雨。在其前面之小雲漩，其尺度雖遠小於 MCV，但因其緊鄰 MCS，所伴隨的雲帶呈對流性且進入南台灣西部。因此，小雲漩在南部大豪雨之貢獻似乎較 MCV 為大。但確切的說，與其是小渦旋（MCV 或小雲漩）對南台灣豪雨有貢獻，不如說是鋒面低壓所造成。

3. MCS、MCV 與降雨

本文以每三小時地面天氣圖為主，配合幾乎同時間之紅外線衛星雲圖（MCS）、可見光雲圖（MCV）及時雨量分布，例如 0000UTC 的天氣圖搭配 2330UTC 和 0030UTC 的衛星雲圖，以及 7 時（7-8 時）和 8 時（8-9 時）的雨量圖。本個案之降雨主要在 6 月 5 日 8 時至 20 時，如圖 19-23。

在 0000UTC（圖 19），MCS 位於低壓中心東側氣壓梯度密區，雲頂溫度梯度最大區在對流中心與低壓中心之間，而對流中心以東之雲頂溫度梯度快速減小。雖然較低高的雲頂溫度區（高雲頂）已進入高雄沿海，但雨未降在雲頂較低而在雲頂溫度梯度較大的地方。0300UTC（圖 20），MCS 如前時間均位於在地面低壓東側至臺灣東方海面高壓中心間氣壓梯度較大的地方，深對流位於高壓的外流和低壓環流交會的地方，然而較大雨量卻發生在對流中心稍北雲頂溫度梯度大的地方（如白色箭頭所示），該區也就是楔狀雲的尖端。從可見光雲圖可以察覺兩個渦旋中心，即所謂的 MCV 及小雲漩，MCV 把低層氣流拉入低壓中心的現象清晰可見，而小雲漩在 MCS 西南緣。伴隨小雲漩的雲系，似對 MCS 的加強有些貢獻。換言之，其對南臺灣降雨的貢獻較 MCV 明顯。

0600UTC（圖 21），深對流在仍然位氣壓梯度大的地方，整個南臺灣被深厚的對流區籠罩，然而大雨僅先發生於高雄（12-13 時），然後向台南及屏東擴展（13-14 時）。此時北方的楔狀雲已消失，主要雲頂溫度梯度在台南及高雄平地，尤其以高雄為大。而南臺東部雖也在最高雲區，但因雲頂溫度梯度在迎風面，顯然在最大降雨降在梯度最大的地區，而不是雲頂溫度最低但溫度梯度勻滑的地方。伴隨小雲漩的雲帶更為清楚並旋入南臺灣西部，顯見小雲漩與南臺灣西部的大雨有關。同樣的，MCV 亦將氣流旋入其中心，對降雨沒什麼貢獻。更確切的說，南台灣大豪雨應是鋒面氣旋環流和鋒後東南風在南台灣產生輻合所致。

0900UTC（圖 22），MCS 之形狀又演變為楔狀，尖狀指向臺南地區並向東緩慢移動，此時在其南側的高屏地區另有對流雲形成，該對流雲雲頂俱有雲頂梯度，因此造成台灣南端的大雨，尤其是在南高雄和南台東地區的雲頂梯度較大的地方有較大的雨量。隨著 MCS 的東移，雨量分布也隨著對流雲的移動而東移，大雨仍然發生在迎風區雲頂溫度梯度大的地方（見圖 23）。

紀和齊（2011）指出，本事件豪雨系統雲型為楔狀形（wedge shape）。該雲系雖由西南台灣向東擴展而籠罩整個南台灣，但其對流部分伸向上游（西/迎風面）。該系統由西向東緩慢移動，因此大雨降下時刻也向東推遲。再度說明衛星觀測之雲系特徵在豪雨分析與預報扮演的角色。

四、總結與建議

本研究利用半小時間距之衛星雲圖、逐時雨量和三小時間距地面天氣圖，針對異於氣候降雨型態之 2008 年 6 月 5 日南臺灣大豪雨事件進行分析，包括降雨、中尺度渦旋，以及 MCS 和中尺度渦旋與此豪雨之關係，初步結果如下：

1. 此次南台灣豪雨分布是普遍性的，但主要集中在西南部和東南部平地，而且雨勢較大時刻均很集中。西南部平地主要在 13-15 時，如鳳山 133.0mm、高雄 169.0mm 和鳳森 166.5mm；東南部在 17-19 時，如南田 115.0mm 和壽卡 111.0mm。
2. 西部地區各高度雨量分布，平均雨量由平地向高山減少，且高山的雨量遠低於平地，而山坡則稍低於平地。平地大雨發生時間較山坡及高山早約 1 小時；達最大值時刻，平地較山坡及高山提早 7 小時，且其較大降雨強度（時雨量 $\geq 15\text{mm}$ ）的延時，平地（約 5 小時）也遠較山坡及高山（僅 1 小時）為長。
3. 中尺度渦旋約於 4 日 2157UTC 形成，至同日 2330UTC 達最強後開始減弱，5 日 0957UTC 消失於台灣西南沿海，其生命期達 12 小時以上。由於該渦旋將在其北方之冷乾空氣拉至其中心，導致此渦旋減弱，此可由可見光雲圖所顯現之低層雲線的走向證明。該雲線旋入越明顯則 MCV 之強度就減弱越快。
4. 由 MCV 中心與對流雲深對流區的距離與渦旋的強度成反比，亦即距離越近，強度越強，反之則越弱。此與熱帶氣旋之切變型風暴的特性類似。
5. 中尺度渦旋及其前方的小雲漩均為鋒面低壓內的渦旋，MCV 並無伴隨西南氣流，而扮演將周圍之氣流拉入其中心的角色；而前方的小雲漩則伴有對流雲，因此，小雲漩在南部大豪雨之貢獻似乎較 MCV 為大。與其是小渦旋（MCV 或小雲漩）對南台灣豪雨有貢獻，不如說是鋒面低壓所造成。

6. 導致南台灣大豪雨之 MCS 分為原來的 MCS 和在其西方上游或南方新形成的對流。山區之降雨主要由 MCS 東移所致，而高雄及南端（包括西南角和東南角）則大都由低壓環流但東方高壓環流的輻合所導致。
7. 導致本事件之雲型為楔狀形，該雲系雖由西南台灣向東擴展而籠罩整個南台灣，但其對流部分伸向上游（西/迎風面）。該系統由西向東緩慢移動，因此大雨降下時刻也向東推遲。再度說明衛星觀測之雲系特徵在豪雨分析與預報扮演的角色。

衛星雲圖是熱力和動力的綜合結果，因而分析較為困難，因此必須配合其他分析（例如中尺度天氣分析、雷達觀測及模式產品等）。由本研究顯示，中尺度地面分析在辨認降雨的位置是重要的，又衛星分析可辨認豪雨發生的區域及天氣系統之演變。因此，雲圖上辨識及更詳細分析各種尺度的天氣資訊是非常重要的，尤其在未來城鄉尺度的預報更為重要。

致謝：

本文之完成承蒙中央氣象局第三組沈里音科長提供雨量資料，中央氣象局提供資料及使用設備之方便，在此一併致謝。本文在行政院國家科學委員會 NSC 99-2625-M-052-001 計畫資助下完成。

參考文獻：

- 林得恩和林裕豐，2009：2008年梅雨鋒面伴隨中尺度渦漩之個案綜觀環境特徵分析。天氣分析與預報研討會論文彙編，182-187。
- 周仲島，2009：西南氣流實驗與台灣豪雨研究，災害防救電子報第47期。
- 紀水上，2006：台灣的梅雨。財團法人中興工程科技研究發展基金會，65頁。
- 紀水上和齊祿祥，2011：SoWMEX 期間導致南臺灣豪雨事件之中尺度對流系統分析。建國百年天氣分析預報與地震測報研討會論文彙編，179-196。
- 廖杞昌和李昌運，2009：梅雨季劇烈降水個案之分析研究。天氣分析與預報研討會論文彙編，97-102。

- Bader et al., 1995: Image in weather forecasting — A practical guide for interpreting satellite and radar imagery. Cambridge University Press, 499pp
- Dvorak, V. F., 1995: Tropical clouds and cloud systems observed in satellite imagery: Tropical cyclones. Workbook Vol. 2., 359 pp.
- Funk, T. W., 1991: Forecasting techniques utilized the Forecast Branch of the National Meteorological Center during a major convective rainfall events. *Wea. Forecasting*, 6, 541-564.
- Lai, H. W., C. A. Davis, and B. J. D, Jou, 2010: A subtropical oceanic mesoscale convective vortex observed during SoMEX/TiMREX. To be Published, Monthly Weather Review.
- Purdom, J. F.W., 1976: Some Uses of High- Resolution GOES Imagery in the Mesoscale. Forecasting of Convection and Its Behavior. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 1474-1483.

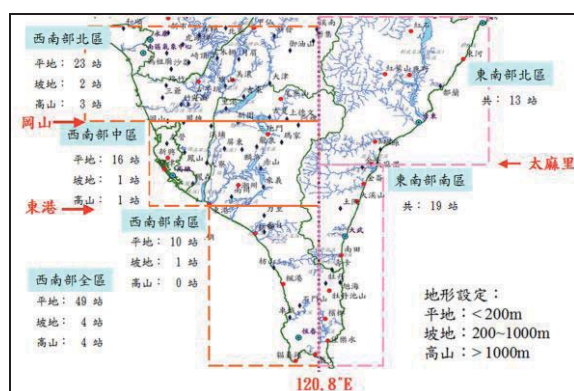
表一 2008 年 6 月 5 日南臺灣大豪雨（24 小時雨量 $\geq 200\text{mm}$ ）各氣象站之逐時雨量（單位：mm）

(a) 1-12 時

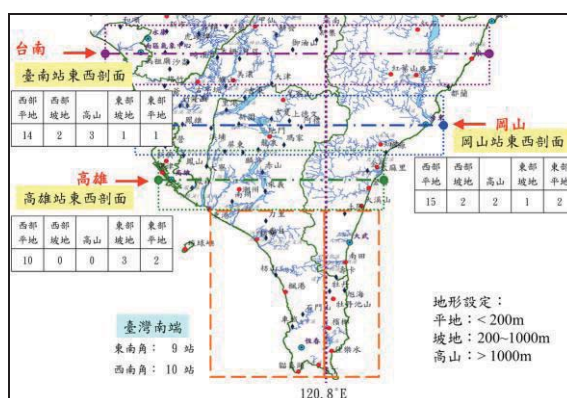
站 名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計
媽祖廟					0.5		1.0	2.0	2.5	6.0	20.5	20.5	53.0
溪 埔			1.5			0.5	0.5	1.0	2.0	6.0	8.0	5.5	25.0
鳳 山	0.5	0.5	0.5		0.5		0.5	0.5	2.5	9.5	7.5	7.0	29.5
高 雄			0.5			0.5	1.0	2.5	8.0	7.0	13.0	12.5	45.0
鳳 森					0.5		0.5	1.0	8.0	6.5	5.0	7.0	28.5
知 本		0.5	0.5			0.5		0.5	11.5	12.5	5.5	21.5	53.0
土 阪					0.5		0.5	7.5	5.5	5.5	10.5	4.0	34.0
大 武								3.5	3.0	2.5	7.0	7.0	23.0
南 田							2.5	1.0	1.5	1.5	6.0	6.5	19.0
壽 卡							1.0		1.5	1.5	5.5	5.0	14.5

(b) 13-24 時

站 名	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	合計
媽祖廟	3.0	16.0	20.5	62.5	40.0	8.5	2.0	1.0	0.5	4.5			158.5
溪 埔	4.0	26.5	41.0	23.0	8.0	40.0	27.0	2.5			4.0	0.5	176.5
鳳 山	27.5	58.5	47.0	10.0	0.5	43.5	0.5						187.5
高 雄	55.0	86.5	27.5	12.5	3.5	9.0					0.2		194.2
鳳 森	23	65.5	61.0	40.0	3.5	7.0	0.5						200.5
知 本	21.5	4.0	15.5	23.0	42.5	15.0	14.0	22.5	3.0				161.0
土 阪	4.5	5.5	26.0	13.0	7.0	28.5	28.0	14.0	20.5	19.0	0.5		166.5
大 武	1.0	3.0	22.5	5.0	18.0	27.5	35.5	33.5	18.0	11.5	1.5		177.0
南 田	1.0	6.0	24.0	8.0	29.0	48.0	38.0	25.0	10.0	7.0	9.0		205.0
壽 卡	0.5	11	13.5	7.5	32	41	38	20.5	7	10	8.5	1	190.5



(a) 各分區（南端分區除外）



(b) 南端分區及沿台南、岡山和高雄之東西剖面

圖 1. 南臺灣雨量站網、各分區、東西剖面及地形高度設定。

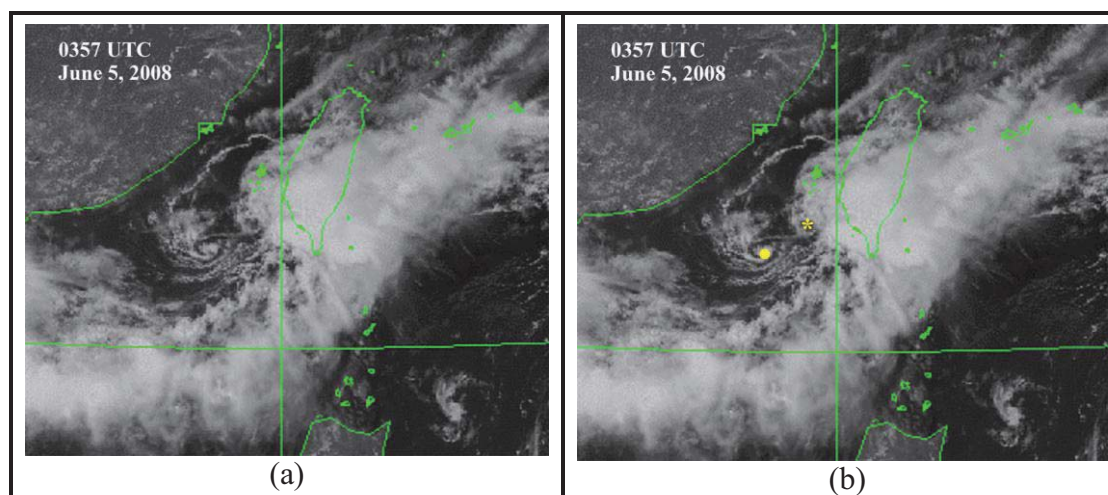


圖 2 2008 年 6 月 5 日 0357UTC 之可見光雲圖。在台灣西南外海有兩個渦旋，其渦旋中心分別以「•」及「*」表示，在西者為 MCV，而在東者為小雲漩（cloud eddy）。

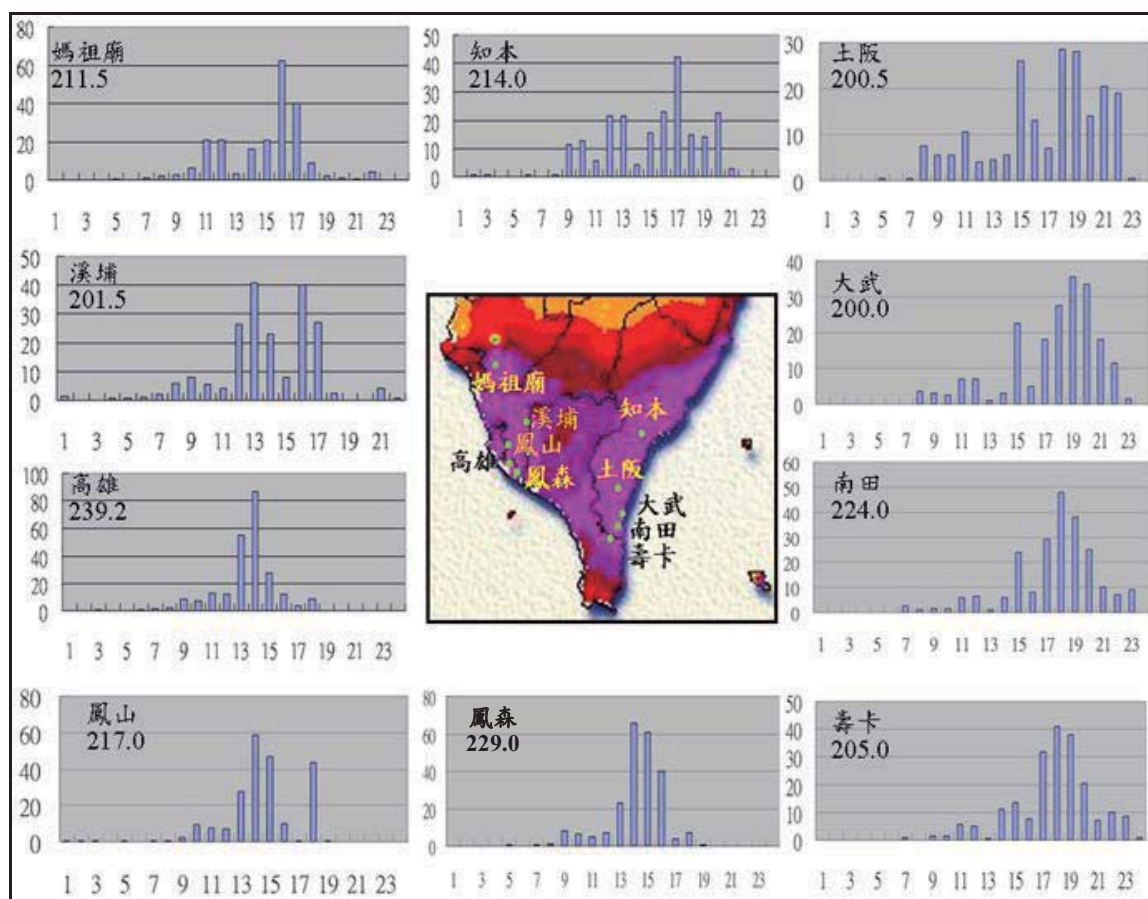


圖 3 2008 年 6 月 5 日南台灣日雨量分布。周圍直條圖為日雨量 200 mm 雨量站之逐時雨量變化。

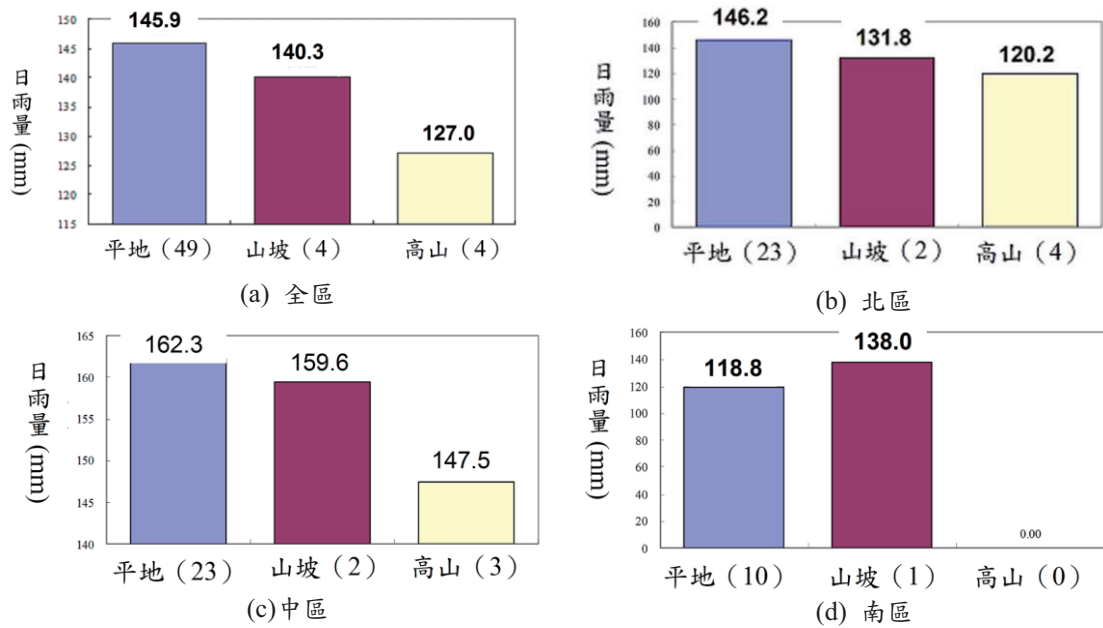


圖 4 2008 年 6 月 5 日南臺灣西部之 (a) 全區、(b) 北區、(c) 中區，和 (d) 南區在不同高度之降雨分布。

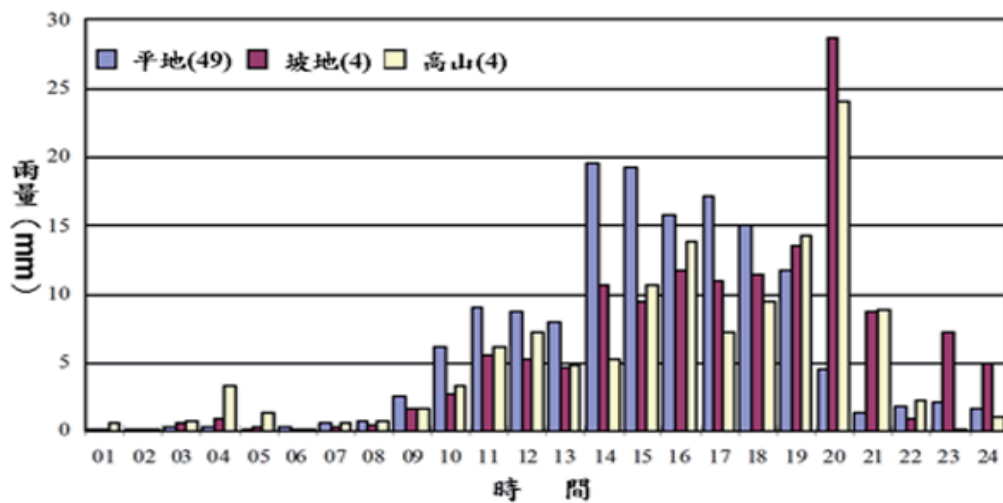
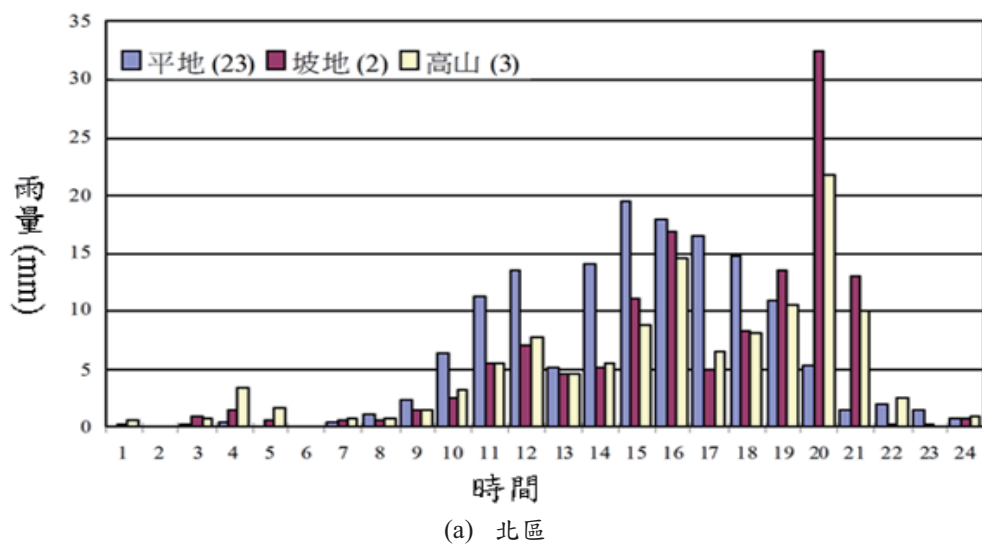
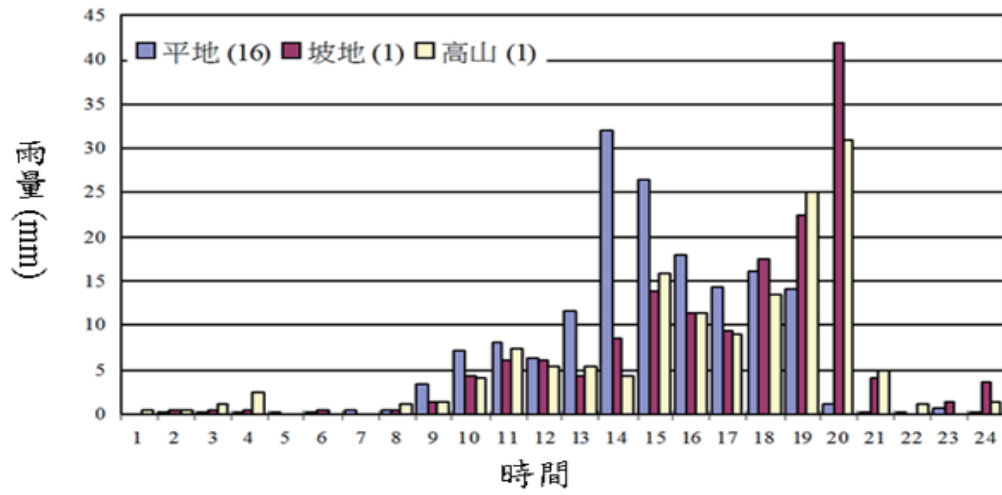
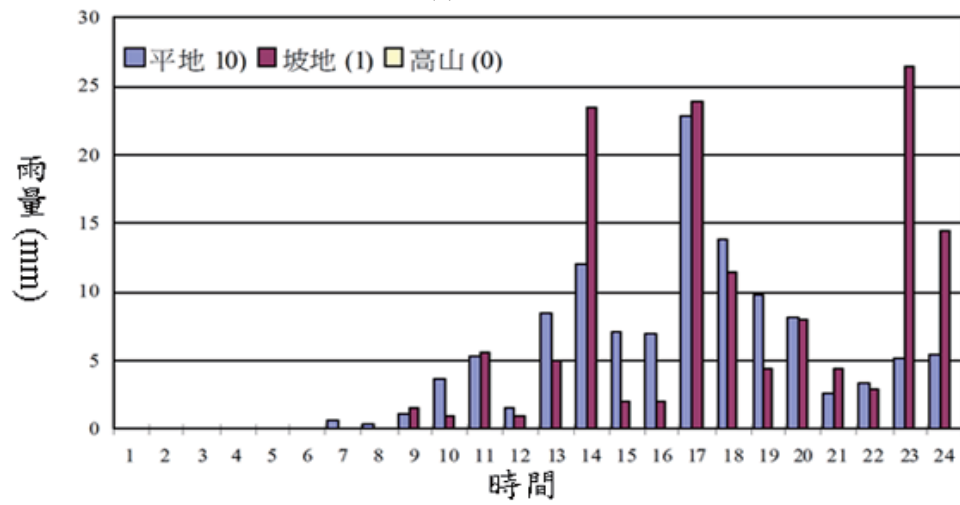


圖 5 南台灣西部全區時雨量變化。



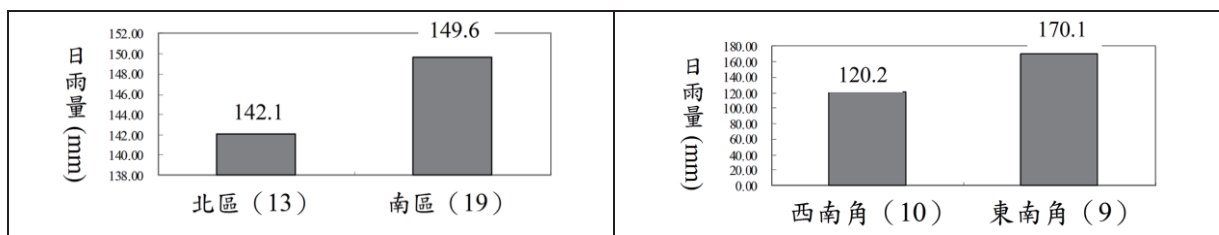


(b) 中區



(c) 南區

圖 6 同圖 5，但為南台灣西部各分區。



(a) 臺灣東南部降雨

(b) 臺灣南端降雨

圖 7 同圖 5，但為臺灣東南部及南端降雨。

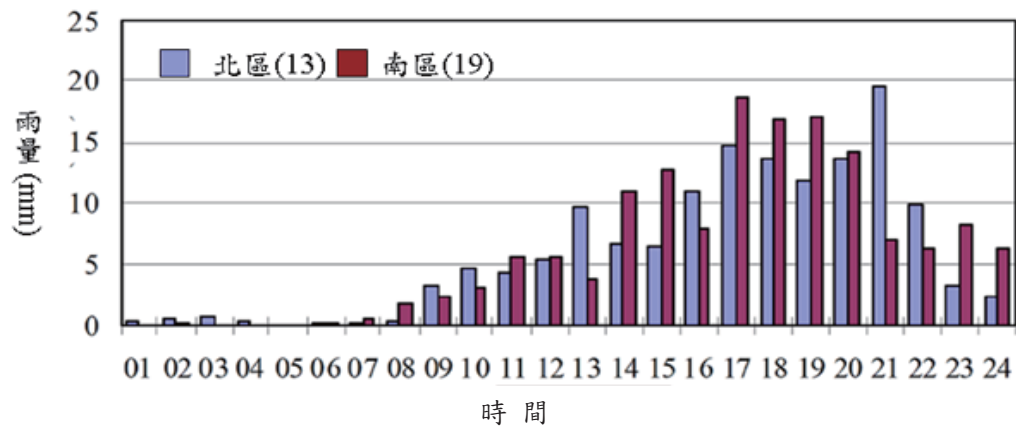


圖 8 同圖 5，但為東部南北分區。

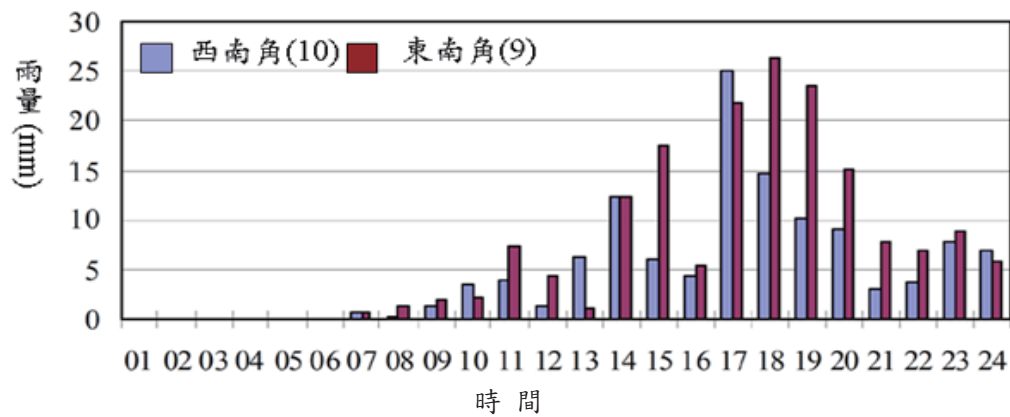
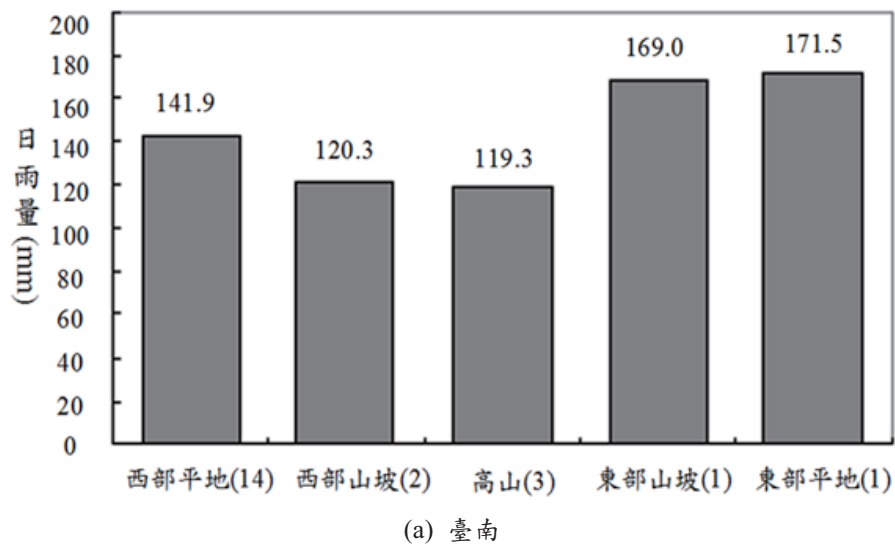
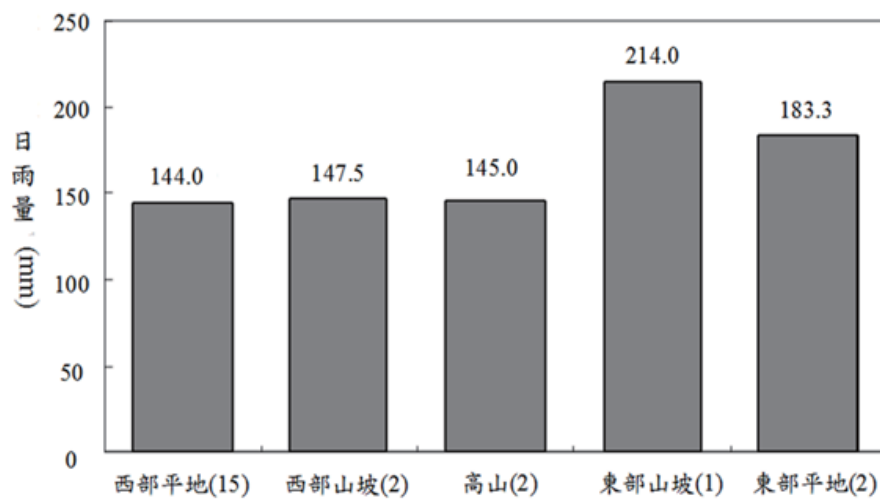
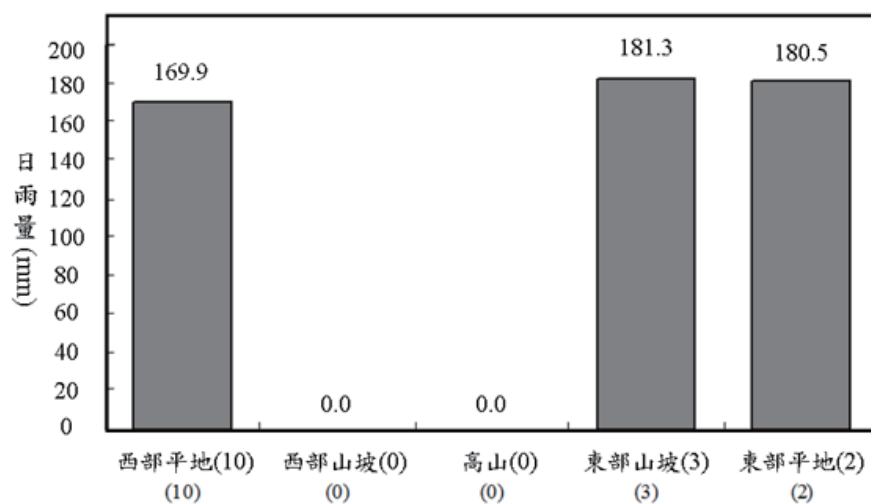


圖 9 同圖 5，但為台灣南端之西部（西南角）及東部（東南角）。



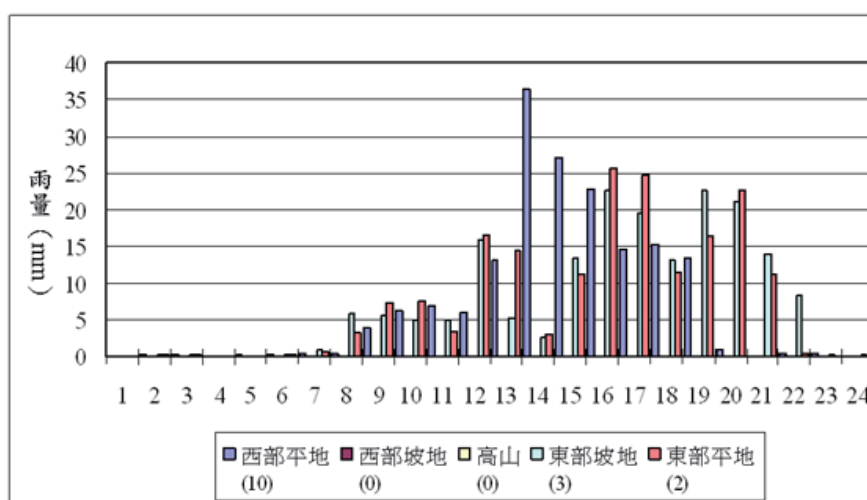


(b) 岡山

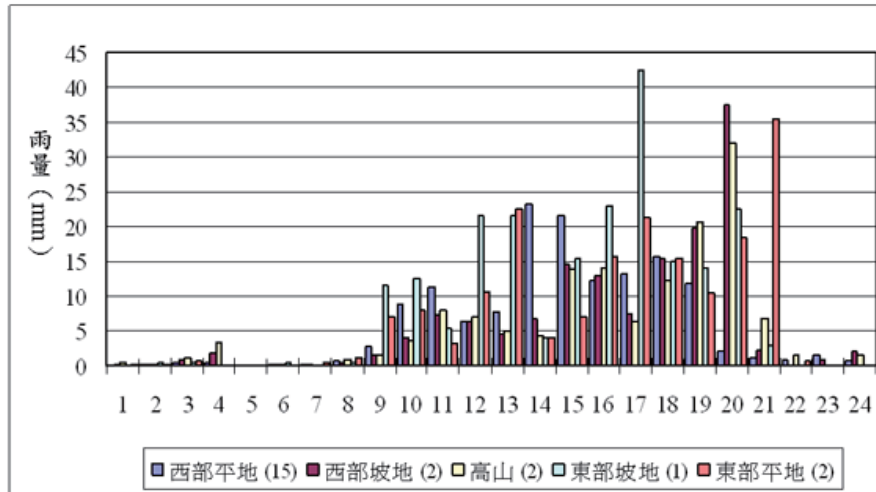


(c) 高雄

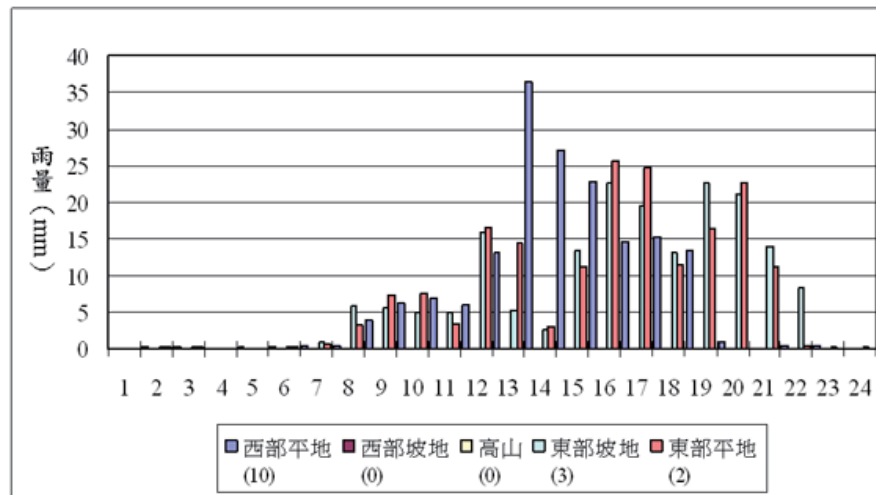
圖 10 同圖 4，但為南臺灣東西剖面雨量分布。



(a) 沿台南剖面



(b) 沿岡山剖面



(c) 沿高雄剖面

圖 11 2008 年 6 月 5 日沿南台灣東西剖面各高度降雨之逐時變化。

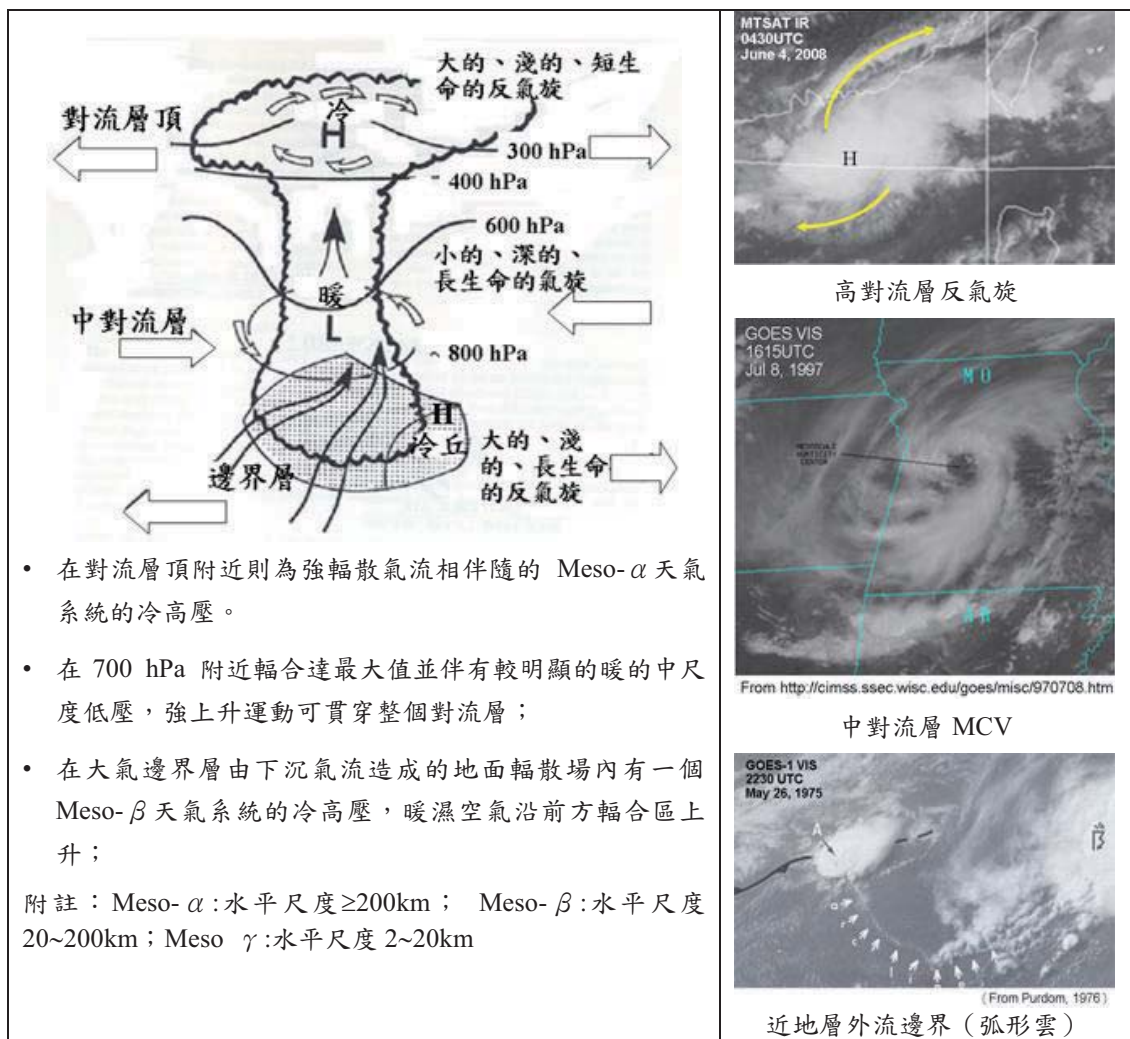


圖 12 成熟 MCS/MCC 之垂直結構示意圖（左圖摘自 Bader et al., 1995）。

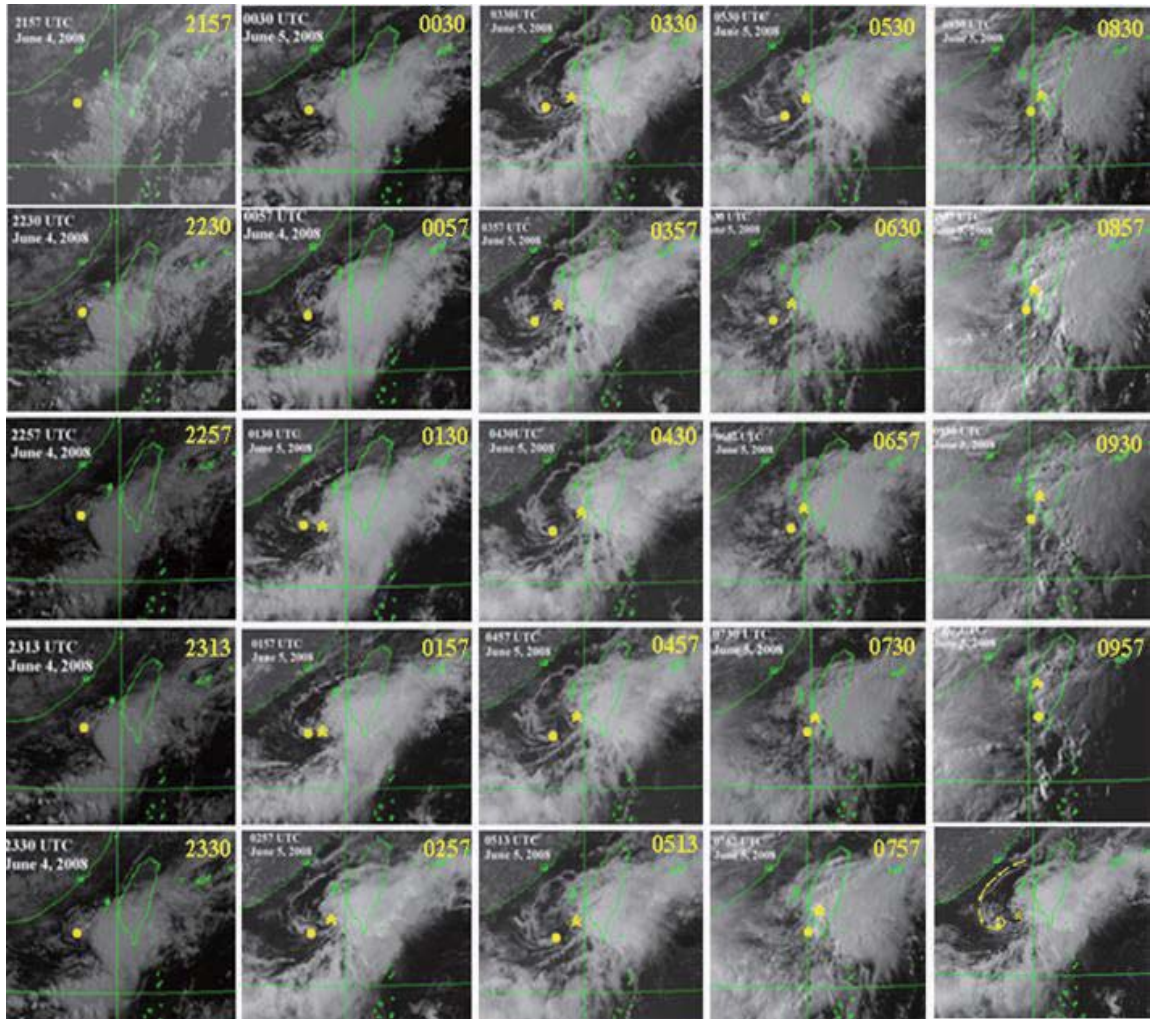


圖 13 2008 年 6 月 4 日 2157UTC 至 5 日 0957UTC 之半小時可見光雲圖(「•」記號為 MCV 中心;「*」記號為小雲漩中心)。

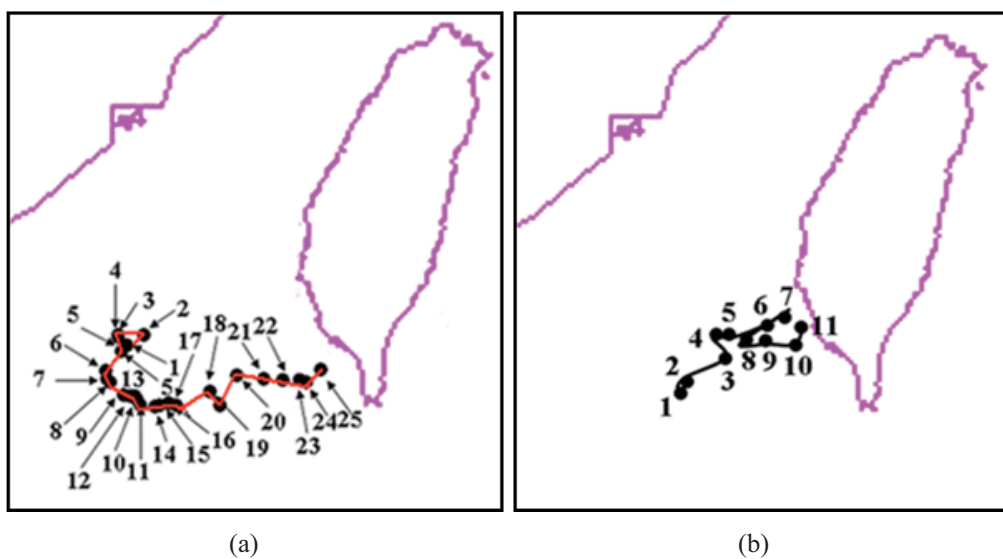


圖 14 (a) MCV 路徑 (6 月 4 日 2157UTC~5 日 0957UTC) 及 (b) 小雲漩路徑 (6 月 5 日 0130~0657UTC)。(雲圖時間間距: 半小時)。左圖之 1~25 為 4 日 2157UTC~5 日 0957UTC; 右圖之 1~11 為 5 日 0130~0657UTC。

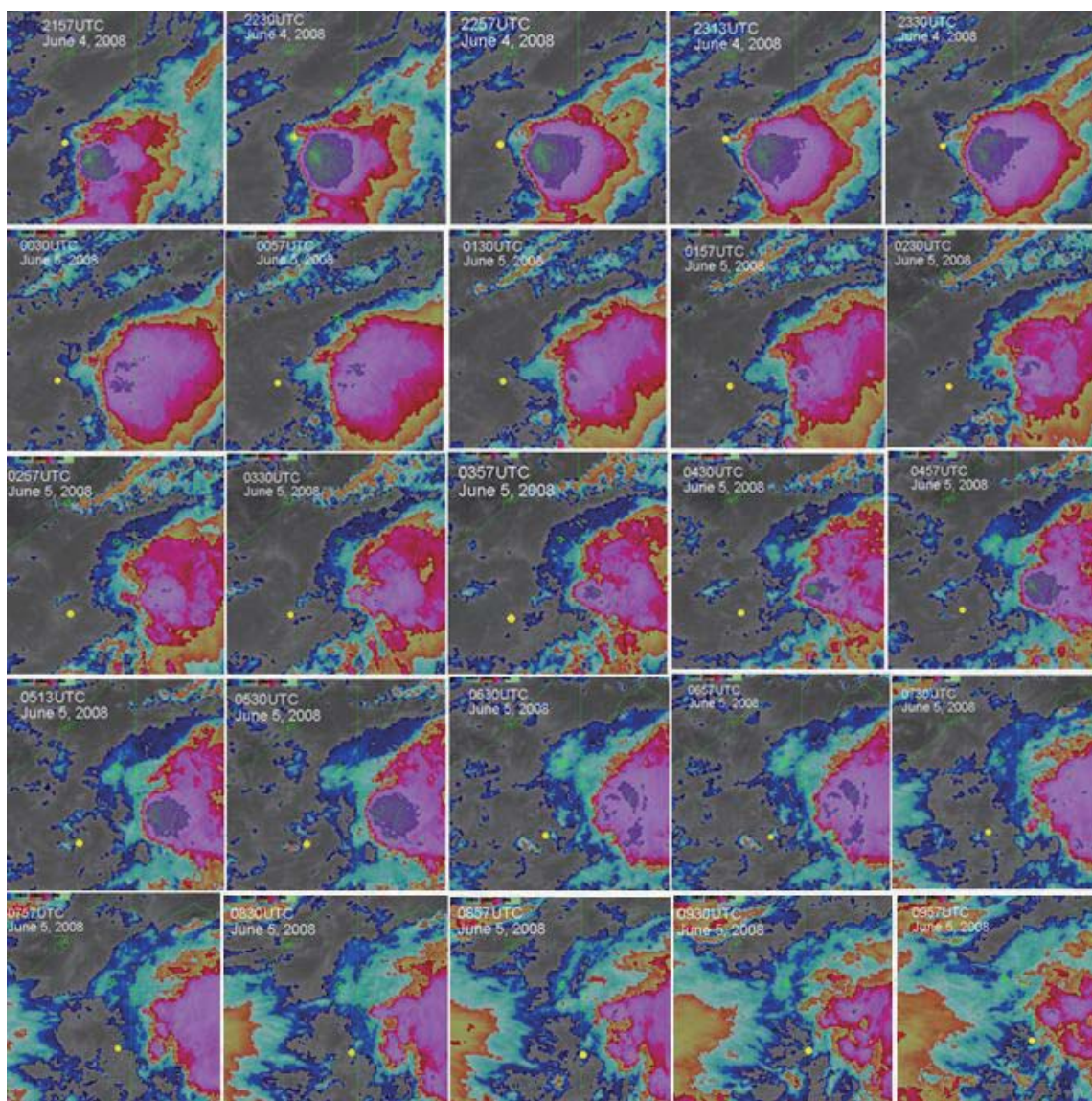


圖 15 2008 年 6 月 4 日 1957UTC 至 5 日 0957UTC 之半小時間距紅外線衛星雲圖。圖中「●」者為 MCV 之中心位置。

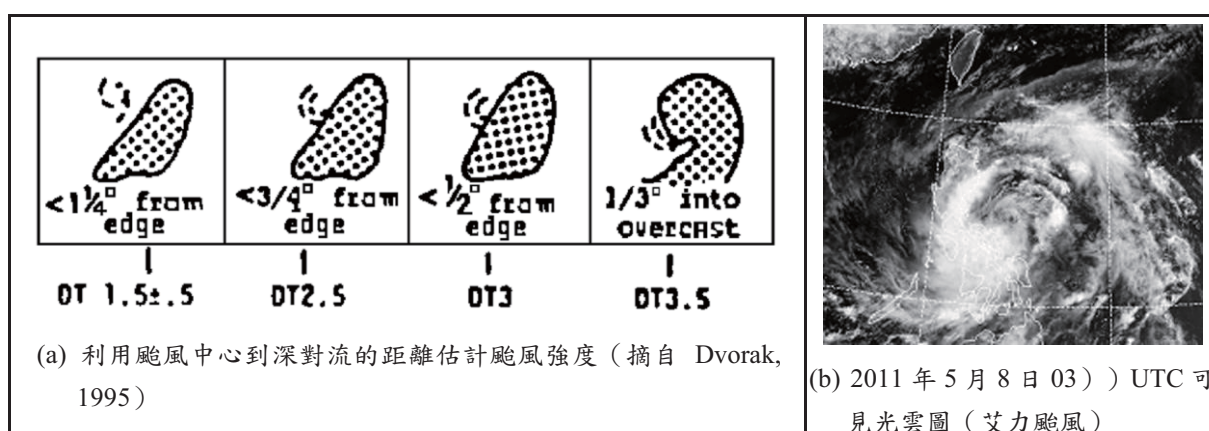
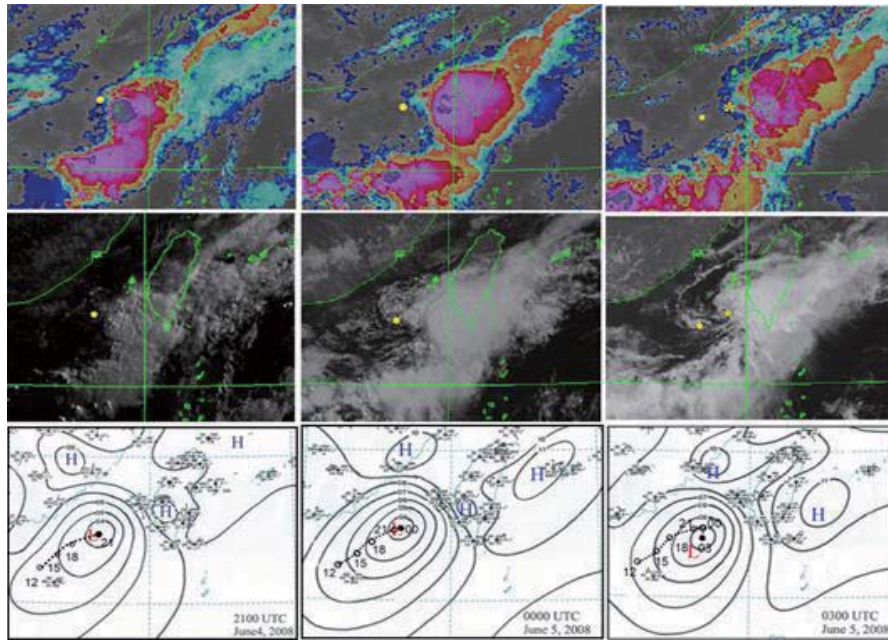


圖 16 熱帶氣旋之低層氣旋中心位置與深對流的距離與氣旋中心之關係。

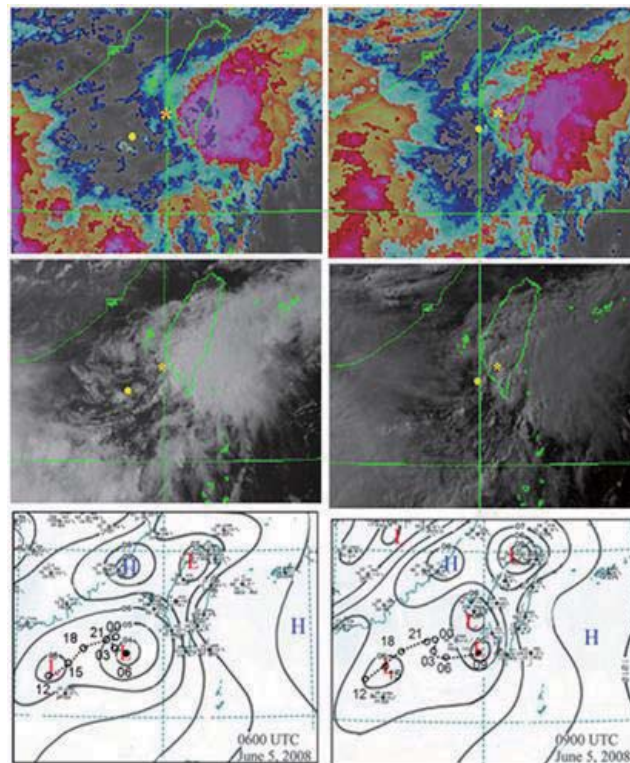


(a) 4 日 2100UTC

(b) 5 日 0000UTC

(c) 5 日 0300UTC

圖 17 2008 年 6 月 4 日 2100UTC~5 日 0900UTC 之三小時 (上) 紅外線、(中) 可見光雲圖和(下) 地面天氣圖。圖中「•」和「*」分別為 MCV 和小雲漩。三小時之 MCV 過去位置亦繪於圖中。



(d) 5 日 0600UTC

(e) 5 日 0900UTC

圖 17 續。

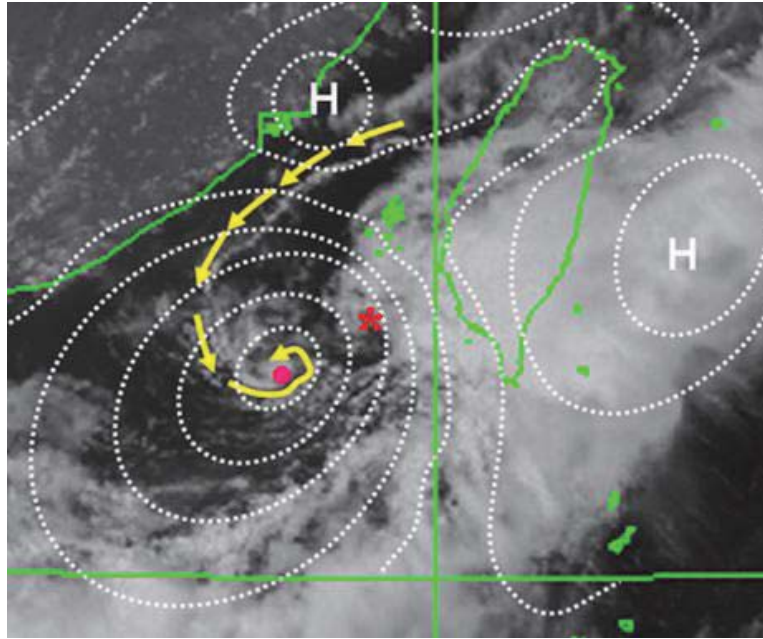


圖 18 2008 年 6 月 5 日 0330UTC 可見光雲圖。圖中「•」和「*」分別為 MCV 和小雲漩。白色虛線為地面等壓線，低壓中心和 MCV 中心位置一致。MCV 將低雲雲線拉入低壓中心的現象清晰可見(見圖中由北而南的箭頭)。小雲漩位於氣壓梯度大的地方。

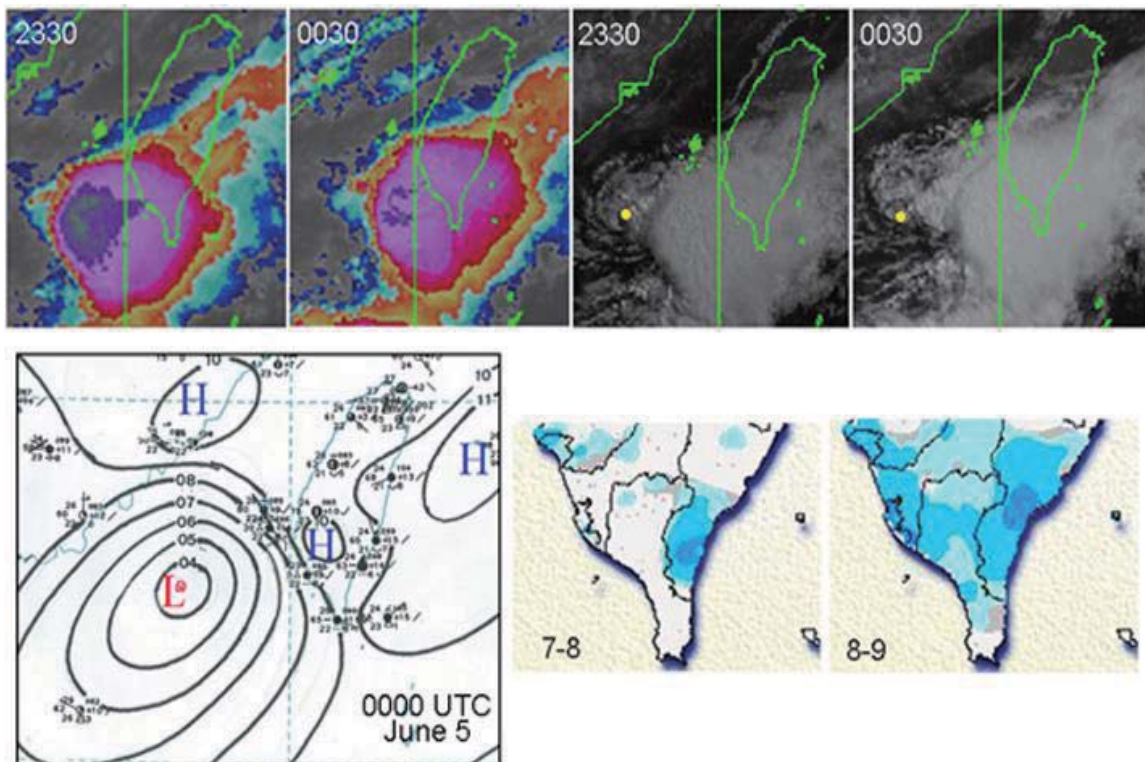


圖 19 2008 年 6 月 4 日 2330UTC 及 5 日 0030 UTC 之紅外線衛星雲圖（上左兩圖）和可見光雲圖（上右兩圖）、5 日 0000UTC 之地面天氣圖（左下）和 5 日 7 時及 8 時之時雨量（右下）。

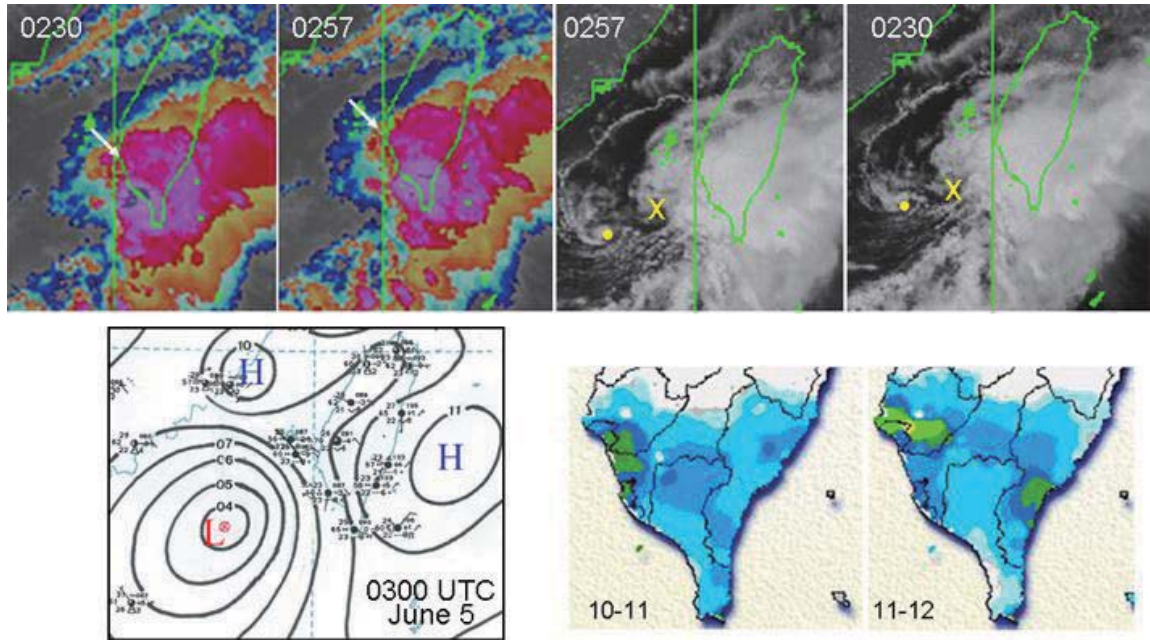


圖 20 同圖 19，但為 2008 年 6 月 5 日 0300UTC 前後之衛星雲圖及時雨量。

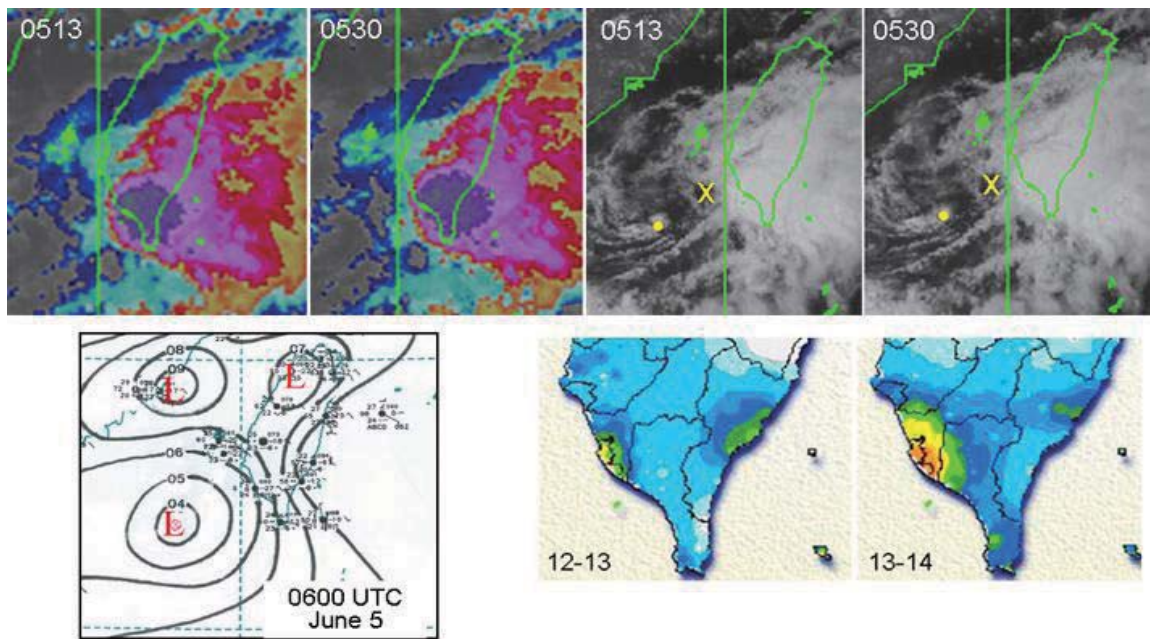


圖 21 同圖 19，但為 2008 年 6 月 5 日 0600UTC 前後之衛星雲圖及時雨量。

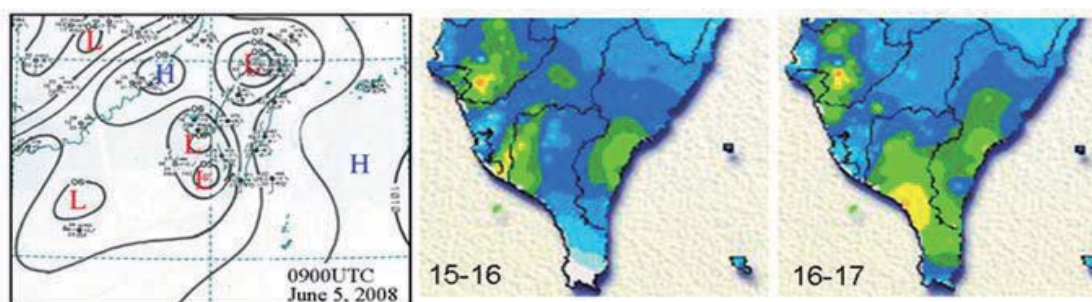
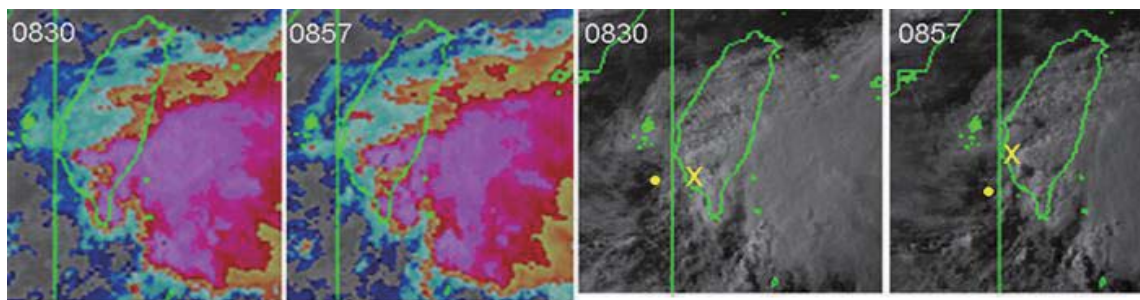


圖 22 同圖 19，但為 2008 年 6 月 5 日 0900UTC 前後之衛星雲圖及時雨量。

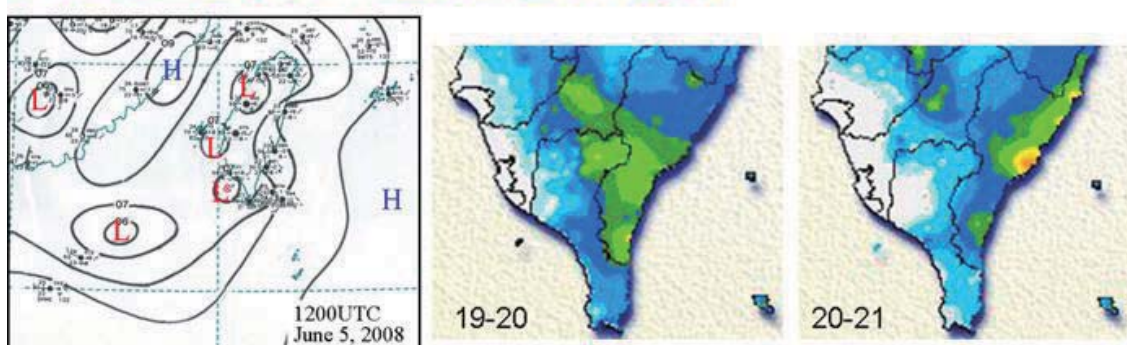
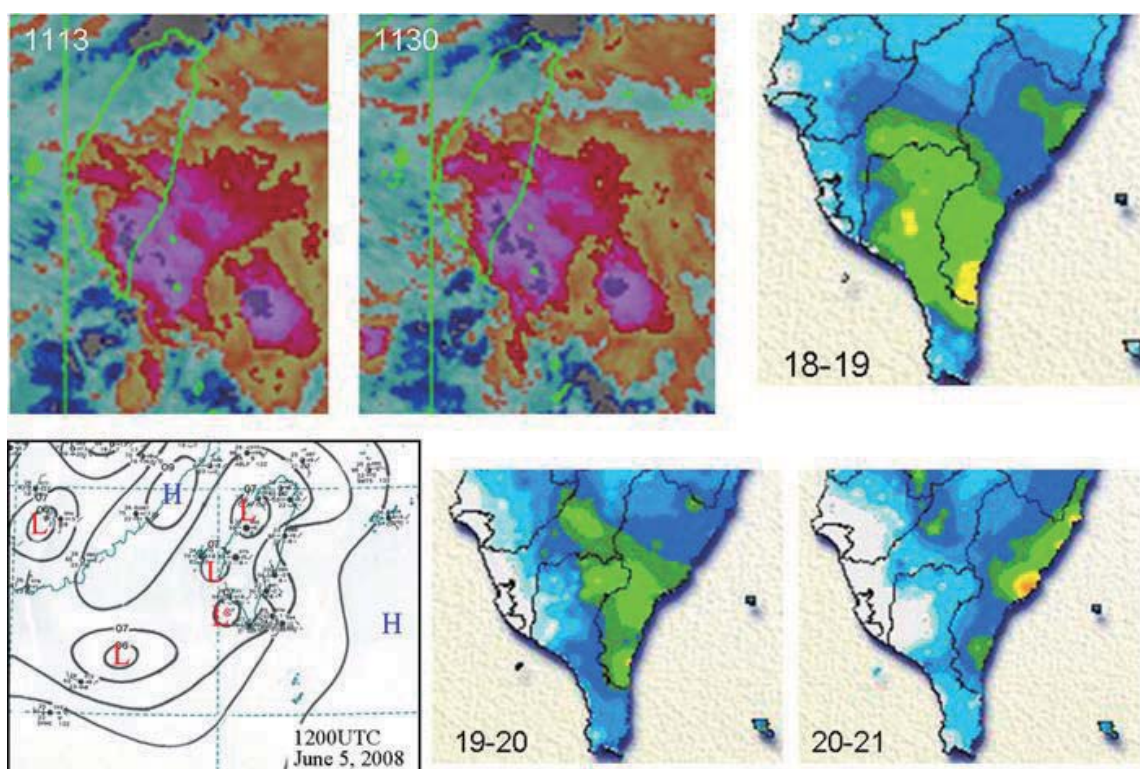


圖 23 同圖 19，但為 2008 年 6 月 5 日 1200UTC 前後之衛星雲圖及時雨量。