

台灣梅雨豪雨實驗（1997-1998 年）密集觀測之天氣類型分析

紀 水 上
中央氣象局

摘 要

1997-1998 年梅雨季，導致台灣地區豪（大）雨之天氣類型大致可分成：強綜觀鋒面型、鋒面與南方擾動共伴型、低壓環流型、上滑型和弱綜觀強迫型等五類。上述各型中以鋒面型最易引發豪雨，其發生豪雨之有利條件包括：鋒面在台灣上空或附近、850hPa 風切線存在、露點大於 15°C、 θ_e 主軸指向台灣或 700hPa 溫度與露點差小於 3°C、高層 300/200hPa 出現分流以及不穩定度存在（TTI > 40, KI > 35）等必要條件。

1997 年第一次 IOP 個案分析顯示，在華南及台灣地區之 MCSs 之移動有三種不同移動型式，即：向上游（西）發展後緩慢東移、向東南移動並消失於台灣海峽南部和向東至東南東移而影響台灣。控制其移動型式之環境條件包括 θ_e 脊軸、1000-500hpa 厚度和高空氣流型式。梅雨鋒面、中尺度低壓和台灣地形之抬升在影響台灣地區 MCSs 之形成、加強和移動扮演相當重要的角色。

水氣雲圖之最大水氣區和水氣羽分別與中南半島之 θ_e 最大區和源自中南半島之 θ_e 脊軸有甚大的相關，且均在 MCSs 之形成和加強扮演重要的角色。

一、前言

豪雨預報是當今困難但具挑戰性的一個課題，因它牽連全球尺度、綜觀尺度、中尺度以及對流尺度等多尺度天氣系統（multi-scale weather systems）及其彼此間交互作用等複雜關係。此等系統中，較大尺度的天氣系統有為較小尺度者提供形成與加強之環境條件，而較小尺度則可透過上升運動釋放潛熱而影響較大尺度的環境（Chi and Scofield, 1991）。因此，欲了解導致區域性豪（大）雨之中尺度對流系統（Mesoscale Convective Systems 簡稱 MCSs）的形成、加強和所處的氣象條件的類型是必要的。1997 年和 1998 年梅雨季（5-6 月）實施「豪雨預報」的預實驗和實驗目的就在為增加此種天氣系統之了解。

本文針對上述兩年實驗期間的十二個密集觀測（Intensive Observational Period；簡稱 IOP）進行分析，以建立其所伴隨之衛星雲系特徵及天氣類型，藉以驗證及補充謝等（1994）和謝（1996）所建立梅雨季台灣地區 豪（大）雨綜觀天氣類型。此外，本文詳細分析 1997 年第一次 IOP 期間 MCSs 之形成、移動與消散過程之環境條件，希望建立梅雨季中尺度對流系統分析流程及 MCSs 不同移動形式之天氣型，以提供本實驗期間其他 IOP/MCSs 分析之範例和預報作業參考。

二、資料

本文目的在探討 1997-1998 年台灣梅雨豪雨實驗密集觀測期間之天氣類型和分析 1997 年第一次 IOP

期間 MCSs 之形成、移動與消散過程之環境條件，所用資料包括地面至 200hPa 之各層天氣圖、逐時紅外線和水氣頻道衛星雲圖，以及 850hPa 相當位溫（ θ_e ）和 1000-500hPa 厚度等導出場和不穩度指數（總指數和 K 指數）等導出場。

三、1997-1998 年梅雨季豪（大）雨之天氣類型

上述 12 個 IOP 之天氣類型大致可分成五類，即：（1）強綜觀鋒面型；（2）鋒面與南方擾動共伴型；（3）低壓環流型；（4）上滑型（overrunning type），和（5）弱綜觀強迫型等。上述各型中，強綜觀鋒面型及鋒面與南方擾動共伴型發生機會最多，各佔 40%，低壓環流型及弱綜觀型發生機會較少，分別佔 12% 及 8%。強綜觀鋒面型依其發生先後、移動特徵、環流型式及雲系特徵等又分為 A、B 和 C 三型。圖 1 為上述各類型之綜觀合成圖。

在強綜觀鋒面型中，A 型（圖 1a-1）之地面鋒面快速向東南東移動，850hPa 風切線平行且緊落於鋒後，鋒前經常出現低層噴流（Low-level Jet 簡稱 LLJ），500hPa 槽線與鋒面近似垂直並超前，300/200hPa 之高對流層為明顯的西北流，但分流微弱或不明顯。雲系以中- β 尺度對流系統在鋒面附近產生，台灣海峽上空之線狀對流為其特徵。B 型（圖 1a-2）所伴隨之綜觀型式與 A 型（參見圖 1a-1）類似，但地面鋒面向東北移動。500hPa 之北方與南來自孟加拉灣氣流在台灣地區匯合，槽線與鋒面近似平行並落在鋒後，雲系寬廣水平範圍拉長，300/200hPa 西南氣流明顯且有微弱分

流。C 型之天氣形式與鋒面 B 型者(如圖 1a-3)類似,但地面鋒面近似滯留,850hPa 風切線與鋒面平行且緊落在鋒後,500hPa 有一深槽與鋒面近似平行,300/200hPa 之槽線在台灣西北方而有明顯的分流。雲系不斷在福建、廣東沿海形成後東移影響台灣。

鋒面與南方擾動共伴型(圖 1b)與鋒面 C 型類似,唯對流及水氣主要來自南方熱帶洋面,500hPa 顯示,鋒面北方有短槽移出,明顯的南支槽在南海附近,提供源源不斷的旺盛西南氣流,300/200hPa 槽線在台灣西北方,台灣及鄰近地區有明顯的分流。台灣附近鋒面雲系與南方熱帶雲簇間產生交互作用,而在台灣地區引發深對流。低壓環流型(圖 1c),在台灣地區,地面存在有一微弱低壓,850hPa 至 500hPa 均有明顯的氣旋式低壓環流存在,300/200hPa 為西南氣流而無

分流。雲系在低壓東側形成後影響台灣東部地區。上滑型的綜觀天氣形勢(如圖 1d),850hPa 風切線落在地面鋒面後方一段距離,兩者均呈東-西向,低層以偏南風至南南西風,有時有 LLJ 存在,300/200hPa 之槽線在台灣東北方,台灣地區有微弱分流。對流發展不高但範圍很廣,降水大部分是層狀暖雲降水,雖降水強度不大,但降水時間長。弱綜觀強迫型(如圖 1e),此類型與鋒面無關,鋒面可能在台灣北方或更遠處,850hPa 可能或可能不存在 LLJ。500hPa,在其上游可能為一脊場或有一微弱槽線存在,西南氣流活躍,台灣及鄰近地區之 300/200hPa 有明顯的反氣旋式環流但無明顯的分流。此類型可能因差異加熱/地形抬升所引起。

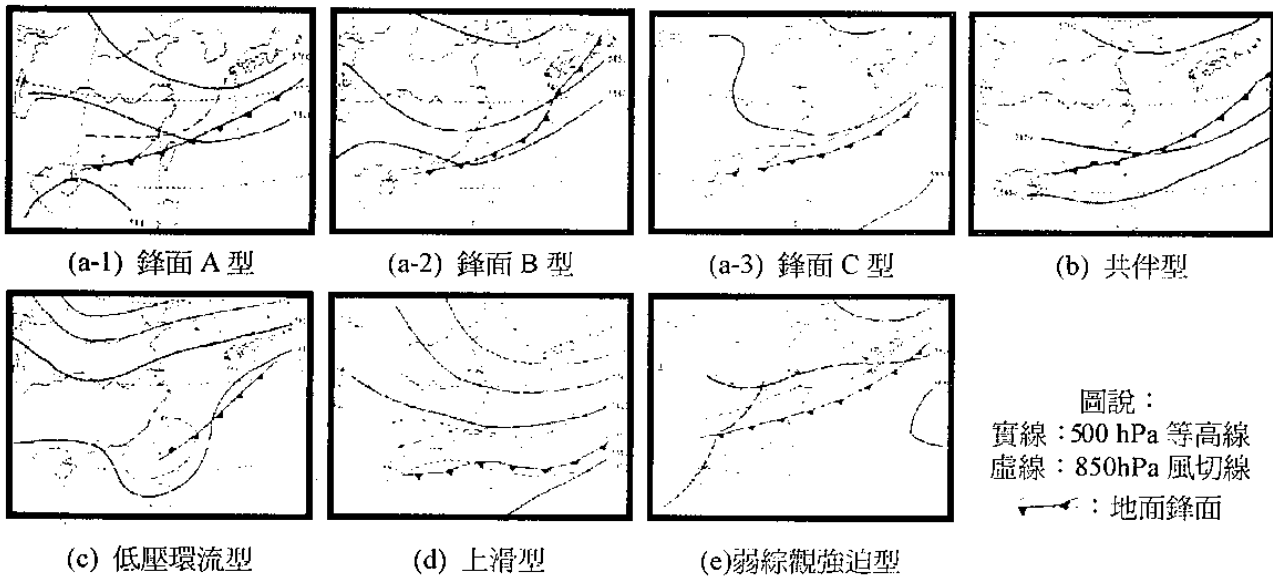


圖 1 梅雨季台灣地區豪(大)雨綜觀合成天氣圖(資料時間:1997-1998 年)。

不穩度指數(如總指數和 K 指數)和低對流層濕度(如 850hPa 露點和相當位溫)亦經分析(圖未示)。綜合上述分析顯示,上述各型中以鋒面型最易引發豪雨,該型發生豪雨之有利條件包括:鋒面在台灣上空或附近、850hPa 風切線存在、露點大於 15°C 、 θ_e 主軸指向台灣或 700hPa 溫度與露點差小於 3°C 、高層 300/200hPa 出現分流以及不穩定度存在($\text{TTI} > 40$, $\text{KI} > 35$)等必要條件。

四、1997 年第一個 IOP (5 月 16-17 日)之天氣形勢分析

逐時衛星雲圖(圖未示)顯示,5 月 16-17 日在華南至台灣地區伴隨梅雨鋒面之 MCSs 有三種不同移動型式,在東段者向東至東南東移而影響台灣;在西者向上游(西)發展後緩慢東移但未影響台灣;而在中間者向東南移動並消失於台灣海峽南部。以下將自全

球尺度(如 connection 和相當位溫分布)、綜觀尺度(如厚度型式等)、中尺度(如天氣形勢)至對流尺度(MCSs 的移動和加強)等說明此 IOP 期間 MCSs 之演變情形。

(一) 全球尺度

1997 年 5 月 16-17 日 00 和 12UTC 之紅外線色調強化雲圖(參見圖 4 及圖 5)、水氣雲圖和疊加 850hPa 風場之相當位溫分布(圖 2 及 3)顯示,衛星雲圖與低層相當位溫分布有很好的相關,尤其是水氣雲圖。水氣雲圖顯示,中南半島有最大水氣區,該區與 850hPa 之 θ_e 最大區一致,水氣源自中南半島之最濕區向東至東北東伸展,此種東西走向之濕度邊界稱之為水氣羽(water vapor plume; 簡稱 WVP)。該水氣羽與 θ_e 脊軸一致且 MCSs 羽區發展。Chi and Scofield (1991) 稱此種於自中南半島之水氣邊界為“Bay of Bengal Connection”。

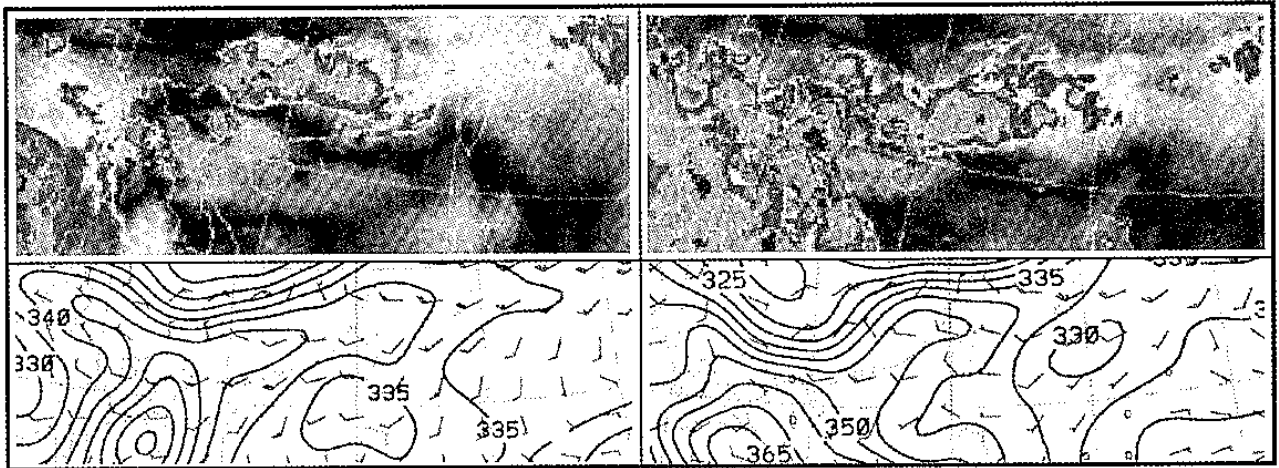


圖 2 1997 年 5 月 16 日 00UTC (左) 和 12UTC 右) 之水氣雲圖 (上) 和疊加 850hPa 風場之相當位溫分布 (下)。

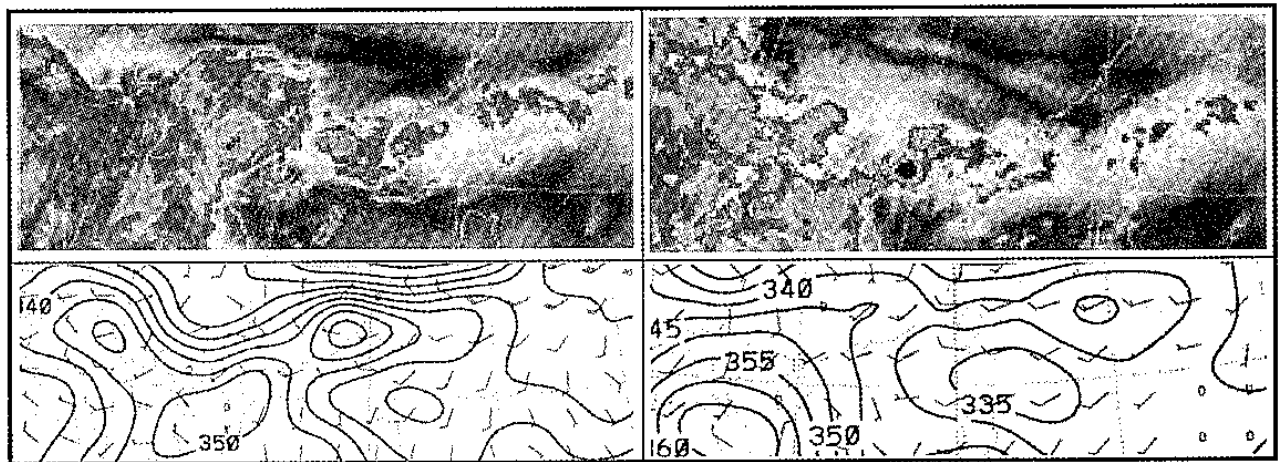


圖 3 同圖 2，但為 5 月 17 日。

圖 2 和圖 3 又顯示，東西走向之水氣羽伴隨著 θ_e 脊軸南移，對流雲帶也隨著南移，於 16 日 12UTC 進入台灣北部，17 日 00UTC 籠罩台灣全省，影響台灣之 MCSs 在台灣西方之水氣羽最強區形成且沿著羽區東移影響台灣。水氣羽於 17 日日間過境台灣且減弱，台灣地區之對流也隨之減弱，顯然水氣羽在 MCSs 之形成與加強扮演重要的角色。

雖然 θ_e 這種水氣邊界在 MCSs 之演變扮演重要角色，但其差的時間解析度 (12 小時) 無法闡釋此種時間尺度短和空間尺度小的對流系統，地球同步衛星則可彌補此種缺陷，因它可提供半小時 (如美國的 GOES 衛星) 或一小時 (如日本的 GMS 衛星) 水氣雲圖，因此水氣雲圖在 MCSs 演變之分析與預報可提供甚有價值的資訊。

(二) 綜觀尺度

前已敘及本 IOP 之 MCSs 之移動型式有三，本節將探討何種大氣環境主宰這些 MCSs 的移動。此三組 MCSs 別在 115°E 以西之華南地區、廣東東部沿海及福建沿海至台灣地區。圖 4 和圖 5 為 1000-500hPa 厚

度和其相鄰時間的衛星雲圖。厚度圖顯示，16 日分流區在 105°E 以東之華南區，之後東移至台灣鄰近地區並減弱。最西之 MCSs 群首先位在該明顯的厚度之分流區而向上游 (西) 發展或向東緩慢移動。在中間之 MCSs 形成時介於 16 日 12 UTC 和 17 日 00UTC 之間，厚度型式由微弱分流轉為東西走向，該 MCSs 在此微弱分流區和東西走向的厚度梯度南側而緩慢向東南移動。而在台灣地區之 MCSs 在微弱分流區而由向上游發展的情形。顯然厚度型式與 MCSs 之移動有密切關係。

(三) 中尺度

1997 年 5 月 16 日 1200UTC 至 17 日 1200UTC 之各層天氣圖 (圖未示) 亦經分析，上述三個 MCSs 形成和加強區之環境條件均存在著低層鋒面 (地面和 850hPa) 和鋒前噴流 (850-700hPa)、中層 (500hPa) 短波槽和高層 (300-200hPa) 分流。當系統離開此等條件後就減弱甚至消散。300-200hPa 天氣圖 (圖未示) 顯示，在西北氣流區之 MCSs 向東南移動，顯然高對流層風場在 MCSs 之移動扮演重要角色。

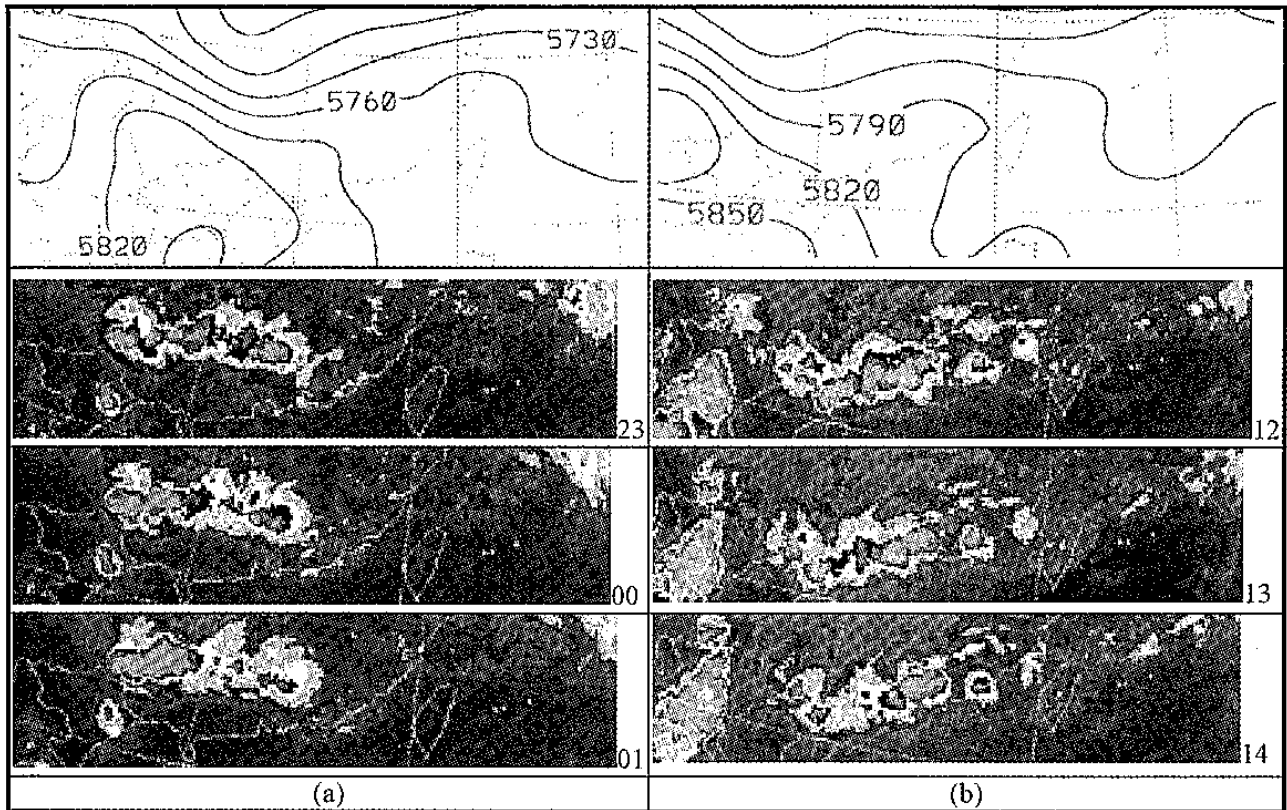


圖 4 1997 年 5 月 16 日 00UTC (左) 和 12UTC (右) 之 1000-500hPa 厚度分析和與厚度圖時間相鄰之逐時紅外線色調強化雲圖。

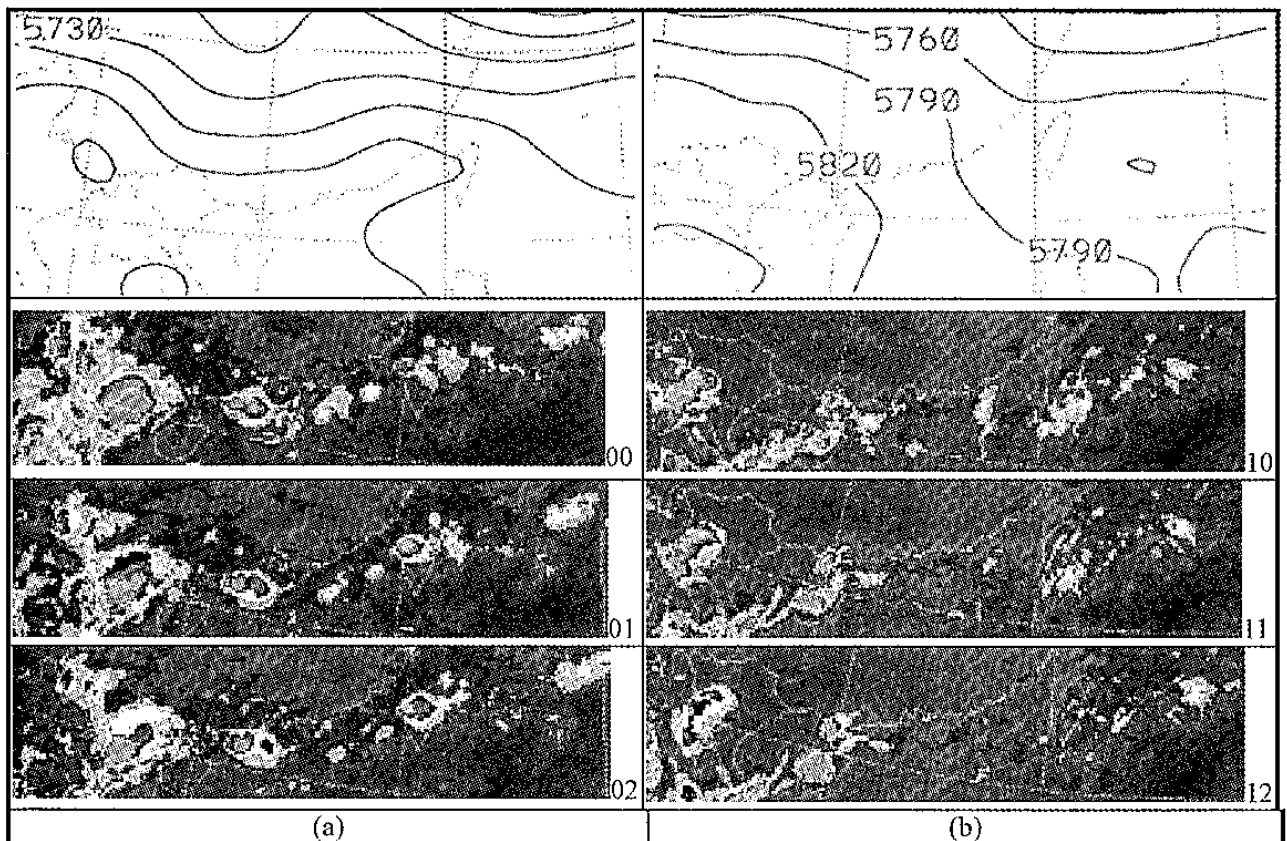


圖 5 同圖 4，但為 5 月 17 日。

發生在中間之 MCSs 隨著高層西北流東南移，因移至台灣海峽 500hPa 之分流區、850hPa 脊區和因 850hPa 因台灣地形導致之西北偏向流 (deflecting

flow) 區減弱後消散。而在台灣地區之 MCSs 將於下節作進一步說明。

(四) 對流尺度

逐時衛星雲圖(圖6)顯示, 16日16UTC在臺灣海峽北部之鋒區存在一微弱的對流雲, 該雲系於18UTC開始加強並稍向東南移, 19UTC經過台灣北端達最強後轉向東移而減弱, 於17日00UTC消散於台灣東北方海面。當此MCS移至西北角海面的同時(19UTC),

在該雲系之西方另有兩個小對流形成, 此兩對流雲持續加強於21UTC合併且形成小逗點雲。經驗上, 逗點雲為渦旋(vortex)雲的一種。該雲系繼續向東南東至東移動並加強, 其前緣於22UTC抵桃竹苗地區而達最強期, 17日00UTC過境台灣北部於02UTC消散於東北方海面。

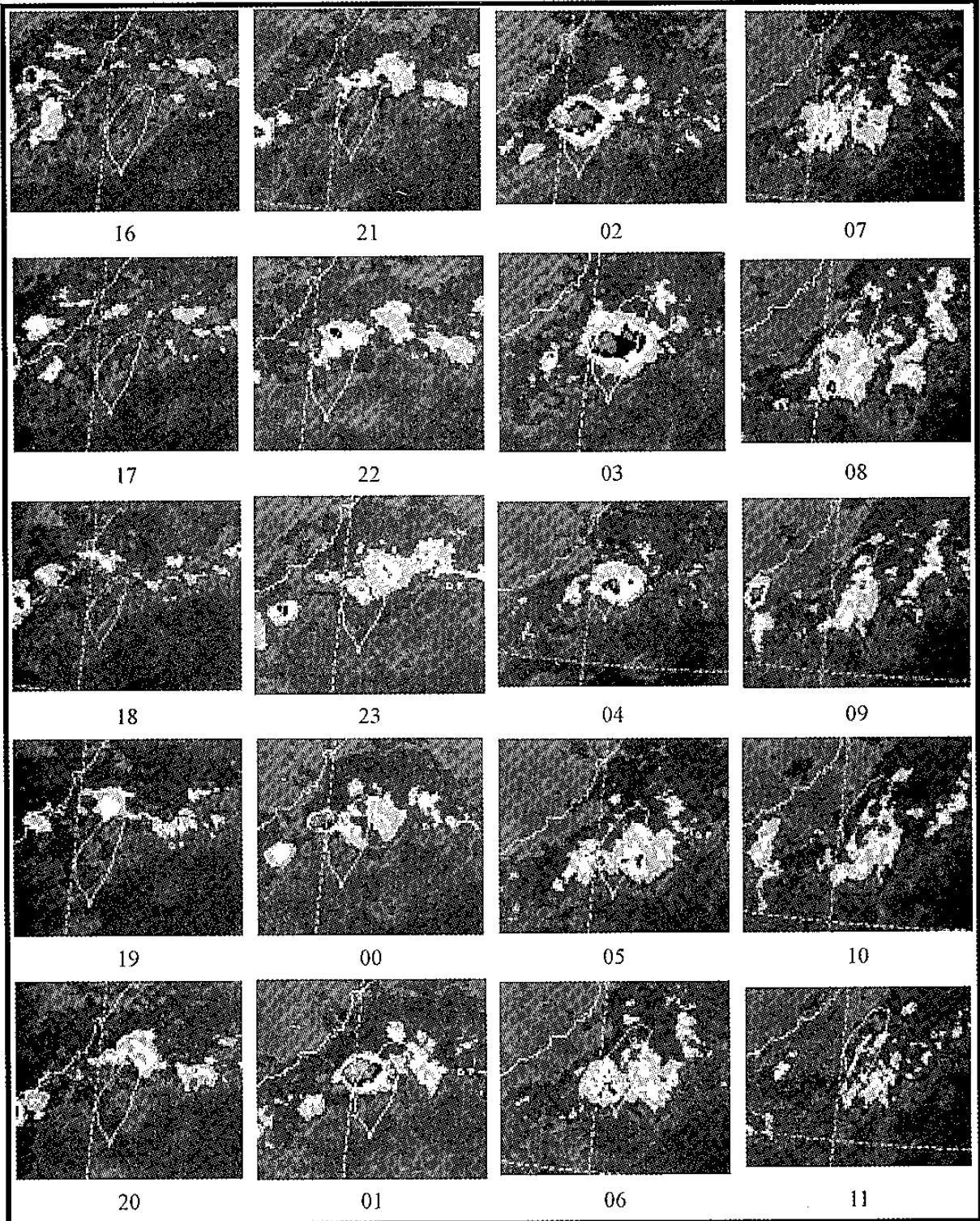


圖6 1997年6月16日16UTC至17日11UTC之逐時紅外線色調強化雲圖。

同樣地, 在此MCS達最強時(22UTC)及之後的一小時, 在其西南方之相棲沿海及海峽中部分別有對

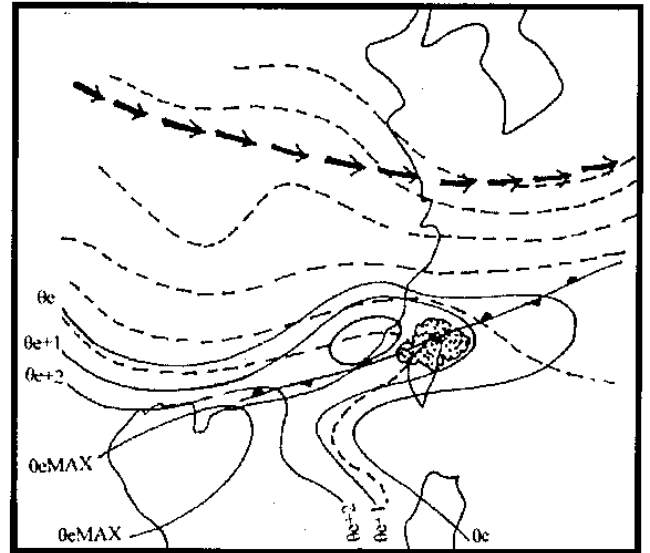
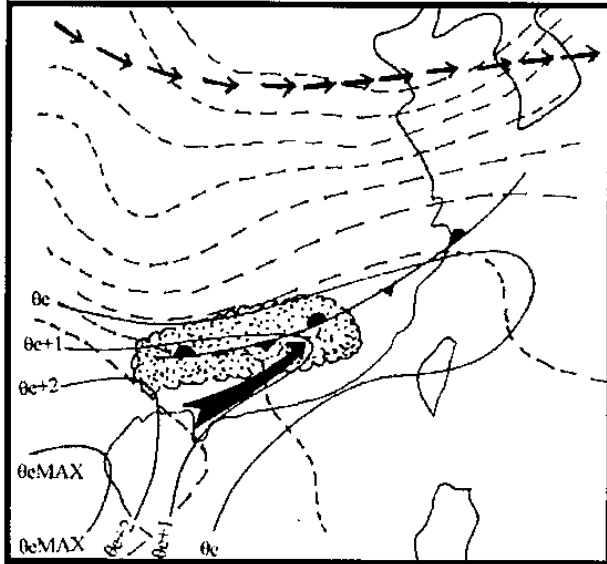
流形成。此等對流雲呈西北西-東南東排列, 在最前者向東南移入中部山區而消散, 而後兩者則合併而加強

於 02 至 03UTC 達成熟期並東移橫跨台灣中、南部，於 09UTC 消散於東南方海面。16 日 23UTC 在海峽中南部有一 MCS 存在並向東移動，於 17 日 00UTC 達最強後減弱，但一度再增強 (03UTC) 後減弱。然而，當它移到嘉南沿海時則再加強，之後向東南移至台東近海而消散。

上述之 MCSs 除位在上述有利的環境區外，當梅

雨鋒移至海峽上空時，中尺度低壓沿著鋒面在海峽形成並隨著鋒面緩慢南移，由於該低壓之環流與鋒面和地形產生交互作用，使得該區之 MCSs 沿著鋒面加強和向上游發展。當 MCSs 移至台灣南部時，原來之 850hPa 之西北偏向流不明顯。上述之種種條件使得這些尺度不大的 MCSs 得以不快速減弱。

上述分析，在華南和台灣地區有向上游發展/或緩慢移動的概念模式如圖 7。



☁ : MCSs ; → : 高層噴流 ; - - : 等相當位溫線 ; ↙ : 地面鋒面 ; - - - : 1000-500hPa 等厚度線 ; ➡ : 低層噴流

(a) 華南地區

(b) 台灣地區

圖 7 向上游發展/或緩慢移動的概念模式，(a) 華南地區和(b)台灣地區。

五、結論與建議

中尺度對流系統導致雨量之多寡視多尺度天氣系統的組織和結構，此種尺度從全球尺度 (如 Bay of Bengal Connection)、綜觀尺度 (θ_e 脊軸和低層噴流)、中尺度 (地形引發渦旋和外流邊界) 至對流尺度 (移動與發展和對流尺度交互作用)。本研究雖然有些成果，但導致劇烈對流降雨之各種尺度的特性必須再深入探討。

雖然衛星資料為唯一能顯示此種多尺度的天氣系統於一幅圖上，但卻無法清楚的解析各層的天氣特徵，因此結合傳統觀測建立豪 (大) 雨天氣型式的概念模式是必要且刻不容緩的。

本分析和國外的研究結果顯示，水氣雲圖在 MCSs 之形成和加強提供比紅外線雲圖更有利的資訊。因此應將此種資料融入豪雨/MCSs 研究，建立較完整的概念模式。

致謝

感謝中央氣象局氣象衛星中心林允才協助蒐集資料。本研究在國科會 NSC89-2625-Z-052-006 的支助下完成。

參考文獻

- 謝信良、林雨我、陳清得、溫嘉玉，1994：台灣地區梅雨季豪 (大) 雨預報研究成果作業化研究防災科技研究報告 82-0414-P052-01B，93 頁。
- 謝信良，1996：嘉南地區定量降水預報整合型計畫—總計畫 (二)，國科會防災研究報告，NSC85-2621-P-052-002，161 頁。
- Chi, S.S. and R.A. Scofield, 1991：Study on the mesoscale convective systems (MCSs) propagation characteristics over subtropical China during Taiwan Mei-Yu season. Intl. Conf. On Mesoscale Meteor. And TAMEX, Dec. 3-6, 1991, Taipei, ROC. 32-41.