

源自青藏高原中尺度對流系統的初步研究 (I) 中尺度系統的演化

李紀恩 潘大綱

空軍氣象中心

摘要

夏季青藏高原與熱帶海洋極其類似，除均為巨大的熱源，都有不穩定的溫度層結，旺盛的對流之外，更有極其類似的渦旋。本文主要是分析民國七十六年八月廿六日至八月廿八日時間內，由青藏高原移出之對流系統在其移出之後，組織發展成為中尺度對流系統，我們將重點放在其演化的過程，從綜觀環境場的變化、熱力、穩定度來探討其特徵，結果顯示出：主要的二個MCS其日平均移行速度各不相同，500MB孟加拉灣低壓提供了豐沛的水汽供給青藏高原上綿綿不斷對流系統生成，MCS移動的指示以TTI與KI較佳，當MCS移出青藏高原地區之後，動力驅動似乎較熱力驅動對MCS之發展來得重要，然而潛熱釋放相信仍然扮演著相當重要的角色。

一、前言

豪雨對於我國來說每年均造成了相當程度之生命與財產上的損失，而往往肇生豪雨的對流系統又是目前氣象學家極欲瞭解及突破的目標。雖然中尺度對流系統的生成機制尚未真正有一定論，然而經由各種方式的分析與探討的確也使得我們對於中尺度有了某些程度上的瞭解。Maddox (1980) 分析美國暖季(3月至9月)之GOS (Geostationary Operational Environmental Satellite) 紅外線衛星雲圖，發現有直徑500—1000公里之有組織且持續的中尺度對流系統經常發生在美國中部及東部，Maddox (1980) 稱其為中尺度對流複合體 (Mesoscale Convective Complex)，其平均生命期約為16.5小時，當其發展後約按700~500mb平均氣流運動。華南及本省鄰近地區在初春及梅雨期亦有類似美國中部之MCC，然而在夏季時，我國大陸上青藏高原的特殊地型促使其在程度上亦有類似熱帶海洋的性質；大致而言，此二者都是巨大的

熱源 (heat source)，均具有不穩定的層結，都有旺盛的對流和結構相似的渦旋，因此夏季時，青藏高原上常常可見有活躍的對流系統，若是在綜觀環境配置有利的情況之下，此種源生於高原上的對流系統即可東移影響我國華南、華中或是華北諸省。Kuo (1986) 即指出，1981年7月12~14日之間四川盆地之降雨量超過300mm，造成了一百五十萬人無家可歸，七百五十三人死亡及五百五十八人失蹤的慘劇，總共的財產損失更高達一億二千萬美元，這是自1949年以來造成該地區最具破壞性的暴洪 (Zhou 和 Hu, 1984)。Scofield (1986) 也利用衛星雲圖來分析我國地區發生於1985年7月23日至9月21日暴雨的特徵，並經由如是分析與發生於美國的MCC做一比較。

本文針對民國76年8月26日起一系列源生於青藏高原之對流系統，其如何組織、移動、發展而後造成華中、華南及部分華北地區豪雨的個案做初步的探討及分析，由於此一系統發生之同時適有颱風黛納 (DINAH) 向台灣地區逼近，GMS-3 衛星

提供了每小時一次的時間解析度，從而使我們能更清晰地看出此一系列之對流系統在其生命史中不同的強度變化，因此我們將重點置於其演化之過程，以及其如何東移影響華中及華南諸省，據傳播媒介的報導，本次個案期間，華中及華南均受到豪雨的侵襲，無論在生命或財產上均造成了相當大的損失。

二、資料來源及分析方法

本文中資料除將採用空軍氣象中心各層等壓面天氣圖之外，並自日本氣象廳所發布之天氣圖中，讀取所考慮範圍內測站之探空資料，此外由於8月26日起颱風黛納逐漸接近本省，因而日本GMS-3衛星提供了每小時間隔的紅外線或可見光雲圖，這種密集的衛星觀測使得在時間解析度上更能掌握住MCS的各種變化，另外空軍氣象中心的一覽圖及地面天氣圖資料也使得我們在掌握MCS伴生的天氣現象有一概念；資料收集完畢之後，除了重新加以分析等壓綫、等高綫、等溫綫之外，並針對低層噴流的位置與變化仔細的予以追蹤，後續則利用各測站之探空資料計算總指數（Total total Index），K指數（K index），蕭氏指數（Showalter index），舉升指數（Lifting index）以及SWEAT指數，從而由指數平面分布上來檢視MCS的移動與各指數間的關係，由於動能的大小可以從傳統的Skew-T探空上加以估擬，因此利用空軍氣象中心CYBER-180/810系統來計算由舉升凝結高度和對流凝結高度為基礎的正值與負值面積，對於可降水量亦可由探空資料中予以計算，而其他的一些參考值如相當位溫（Potential temperature），相對濕度，比濕（mixing ratio），亦同時予以分析計算。

三、衛星雲圖分析

圖一為民國76年8月26日~28日之GMS-3衛星雲圖，由於在此期間內颱風黛納適正向本省逼近，因此日本GMS-3提供了每小時一次的衛星圖，經由此一有利的時間解析度，我們更可明確掌握住中尺度對流之移動及發展的變化。事實上，早在26

日以前即有活躍的對流系統此起彼落地於青藏高原上活動，然而卻始終未有組織或東移進入華中、華南乃至於華北；或曾有組織，然限於衛星及綜觀尺度觀測上解析度之不足，無法界定其是否為一來自青藏高原上之中尺度對流系統，因此之故，我們爾後將重點置於26~28日期間來自於青藏高原的中尺度對流系統。

就雲圖上來分析，26~28日之中間，較為明顯的中尺度對流系統有二個，第一個由26日12Z起由高原上組織後南移並發展，26日21Z已組織結實並向東北方移行，如圖二中A所示，27日12Z曾稍有減弱，然而後續又與東移出青藏高原之其它對流系統交互影響而增強，此系統雖又一度的削弱與增強，全程而言，直至28日21Z止仍維持相當有組織的結構，天氣現象影響華中及少部份華北地區，另一對流系統則起自27日21Z，其源地亦為青藏高原，經由組織、發展、南移，終而影響華南及華中部分地區，就此二者而言，均伴生有雷雨、暴洪，甚至部分地區還有降雹的報告，根據Purdum(1986)所述，我們檢視紅外線及可見光雲圖上各種特徵，我們發現自27日03Z位於華南地區的對流雲系減弱之後，由於後續又受到另一對流雲系（110°E，30°N）下沈外流（outflow）的交互影響之下，使得位於其西面的雲系組織起來，並發展成為第二個主要的MCS；此外部分可見光雲圖中我們亦可看出MCS中有上衝頂（overshooting tops）的情形，據此我們可知該處應明顯地有劇烈的對流。

大致而言，從雲圖分析的結果中我們可以結論出：第一個MCS的生成至消散（失去其為MCS條件為止）大約為23小時，且平均一天移行10個經度左右；第二個MCS則有35小時左右的生命史，由於其近似滯留於華南地區，因此平均移行的速度明顯地小於一天7個經度。另外值得我們注意的是MCS與環境間交互作用的影響之下，使得28日12Z起，位於115°E，30°N附近另有一組織化的MCS，此種類似複合體情形發展的事實與Maddox(1981)所述之MCC生成發展概念模式相似，後文中我們則將從熱力角度，綜觀尺度環境場配

置上來討論上述的主要兩個 M C S (A 與 C 如圖二所示)。

四、綜觀分析

自春末至夏季，青藏高原已逐漸由熱匯 (heat sink) 轉變成熱源 (heat source)，此時於華中、華南及青藏高原地區通常並沒有十分明顯的天氣系統，主要的中緯度氣旋受到大環流向北移置的結果，已北退到北緯 $35^{\circ}\text{N} \sim 40^{\circ}\text{N}$ 附近，因此本文所考慮的範圍內，大尺度環境氣壓梯度很弱，且風速亦很小此點特性類似 Maddox (1980 a, b,) 描述美國 M C C 的環境特徵，8月25日地面天氣圖上(未列出)青藏高原及其東方之華中、華南普遍沉浸在一低壓帶之內，審視其時間序列上(如圖三)至29日止並無明顯的變化。我們分析了地面及露點的分布情形發現，主要的 M C S 生成位置大約亦在震點脊綫及溫度脊綫有利配置的情況之下，根據 Miller (1972) 所指出，嚴重風暴 (severe storm) 的預兆 (precursor) 中地面及 850 MB 上的暖脊位於濕度脊綫東方是項有利的因子之一，此一事實在此次個案中幾次都可從仔細的地面分析中證實(未列出)。

圖四是 850 MB 低層噴流 (Low Level Jet; LLJ) 的變化，圖中可見所有的 LLJ 全部都具有南風分量，因此本質上在 LLJ 中心的上方已具有輻合的特性，而南風分量無異又增強了水汽向北之輸送；倒是審視 M C S 與 LLJ 發生時間上的變化而言，由於雲圖及傳統觀測上解析度的限制，無法判別究竟 M C S 與 LLJ 何者為因；誰又為果。Maddox 和 Doswell II (1982) 指出，低對流層中強烈的暖平流有時比差異性渦度平流對於引發垂直運動進而激發有組織的對流更重要，據此我們檢查 26日 00 Z 至 28日 12 Z 850 MB，結果顯示 25°N 至 35°N ， $105^{\circ}\text{E} \sim 115^{\circ}\text{E}$ 在 27日 00 Z 以前，普遍都是暖平流的區域，到了 28日 00 Z，此一暖平流的區域向東且向南移置，圖五為 28日 850 MB 的天氣圖，就渦度平流場來看，華南、華中幾乎都是處於正渦度平流區域之內，當然無論溫度平流或渦度平流場的定量分析，都是對瞭解此

次個案重要的資料佐證，然而如上述所言，本文乃此文章的第一部份，定量的計算將於第二部分提出來。

圖六是 28日 00 Z 及 12 Z 的 700 MB 圖，明顯的短槽存在於四川盆地、華南及華中西南風盛行，短槽前輻合，水汽由南向北輸送至華南華中地區，適提供 M C S 發展的有利環境，圖七是 28日 500 MB 00 及 12 Z 的天氣圖，00 Z 時南支短槽位於 110°E 附近，中緯度槽則較北，至 12 Z 時，華中地區的槽乃是由北方槽綫斷裂東移至該區，原來的南支短槽已不復存在，從雲圖上的發展配合來看，M C S 曾一度減弱的情況適與 500 MB 在 110°E 以西地區有負渦度平流所導致的下沉運動，抑制了對流的持續發展，至 12日 該區則明顯的是正渦度平流影響範圍，雲圖上則又見對流系統的發展及組織結實，值得我們注意的是，自青藏高原上有明顯對流系統生成開始，孟加拉灣地區就有一很完整的低壓系統，大範圍的流場由此一系統的存在，使得青藏高原源源不斷的有來自孟加拉灣的水汽供應，而這個事實對於青藏高原上對流系統的生成及是否東移出青藏高原有相當的影響(葉，1977)，大致而言，孟加拉灣低壓的存在是導致青藏高原上有組織對流產生，然後一波波地東移出該區的主要水汽來源，當 M C S 組織結實之後則水汽的供應多半來自於中低對流層，中低對流層南風分量即扮演了此一角色。

圖八為 8月28日 00 Z 與 12 Z 300 MB 和 200 MB 天氣圖，高層大氣中我們並沒有分析出噴流的存在 (Upper Level Jet ULJ)，事實上較客觀的說法是 ULJ 位置偏北，並非落在我們所考慮的範圍之內，然而無論在 300 MB 或 200 MB 上，位於華中、華南的高壓系統，無論在位置上或其輻散的性質上都使得 M C S 在垂直結構上有持續存在的條件，以垂直速度的分布而言，位於低層槽前的輻合與相伴高層輻散促使 M C S 得以存在，至於何以 200 MB 上 12 Z 的高壓位置與雲圖 M C S 的位置並不一致，此點我們相信後續當高層輻散場計算結果出來之後，應可得到一些解釋。綜合而言，在綜觀系統的條件之下，低層暖平流，水汽自南方

輸送至華南及華中，500 MB正渦度平流影響上的垂直上升運動，以及南風分量將水汽自孟加拉灣引入青藏高原地區，提供青藏高原上不斷有對流活動生成，以及高層大氣輻散的配置，使得MCS得以由青藏高原組織，東移，成長進而影響華中及華南地區；大略而言，MCS的增強減弱在28日00 Z與12 Z的環境場中，溫度平流與渦度平流垂直變差（或僅以500 MB渦度平流來看(Miller, 1972)）以及高層反氣旋位置都是重要的因素，而MCS的移置何以首先向南而後向東北或東北東移行，此點可能是在其初期組織發展的過程中，向南有利於水汽之獲得，且青藏高原東側陡峭的地型致使其先有向南的運動，然而一旦組織結實之後，則幾乎沿著700 MB~500 MB平均氣流來移動，此點又與Maddox(1981)研究美國地區MCC的結果一致

五、熱力與穩定指數分析

爲了瞭解各種穩定指數分布及其對於MCS移動之間的相關性，以及穩定度的特性，我們將各指數之平面分布與衛星雲圖上MCS移動來比較，結果發現SWEAT, SI, LI並不如總指數及KI來的理想，圖七爲KI在28日00 Z及12 Z的分布，分布圖顯示00 Z有指導MCS向南的徵兆，12 Z則顯示30°N/115°E附近有利對流性雷雨的發現；圖六則爲總指數在00及12 Z時的分布情況，雖然不穩定區域普遍都存在於華中及華南，然而主要的最大值TTI區與雲系後續發展大致吻合，比較KI與TTI在指示MCS的移動上來說，KI似乎較TTI理想。陳等(1986)指出水平相當位溫梯度的變化與MCS的強弱有正相關，在我們的個案中並沒有十分明顯的類似情況，我們相信這可能是由於無論華中或華南地區，水汽平流均十分強，致使氣塊凝結而增加氣塊溫度的過程，在各測站之間並沒有太大的差異；我們同時也分析了 θ_{500mb} — θ_{850mb} 的分布，由此可以看出對流不穩定區域所在，圖九與圖十分別爲28日00及12 Z θ_{500mb} — θ_{850mb} 和850 MB混合比的分布情況，00 Z的不穩定區普遍存在於華中及華南，然而其極大區域有指示MCS向南發展的徵候，12 Z則可以看出

此值大於6的區域與雲系後續的發展一致，另外從850 MB混合比的分布上來看，華中、華南地區幾乎都是位於14.0 g/Kg的範圍內，水汽含量自然相當豐沛，不穩定的條件加上水汽的源源供輸，自然促使了MCS的生成與發展有利環境條件。

圖十二及十三爲測站57494，28日00 Z及12 Z的探空曲線圖，首先就兩張圖中均可以從風場看出其有暖平流的特性，另外在00 Z的曲線中逆溫存在於1000 MB到850 MB之間，這種逆溫對於水汽滲集而言是有利的，此時LCL值爲922 MB，由LCL基楚計算出之動能正面積區爲45 J/Kg，負面積區則爲2577 J/Kg，對流溫度則爲44°C，可降水量則依
$$= \int_{922}^{200} \frac{q dp}{g} \text{ 1000 MB}$$
的方法計算，得其值爲5

mm，從衛星雲圖對照來看，此時該測站的地面觀測顯示該測站爲碧空無雲，到了12 Z時，逆溫已被突破，測站地面觀測爲密雲且有雷雨發生，高相對濕度已經由垂直運動混合伸展至高層，暖平流仍然可以從風場垂直順轉看出，LCL高度此時爲945 MB，動能正面積區已由原來之45 J/Kg，增加到1232 J/Kg，負面積區則趨近於0值，可降水量也由5 mm增加爲7 mm，根據ETAC, AWS/TR-79/006(1979)的報告來分析此測站探空的特性，空氣塊只要經由舉升至945 MB則可以由環境中汲取動能繼續向上運動，本文之所以未採CCL爲基楚的動能估擬值，主要是因爲在00 Z時TC值(Temperature of Convection)高達44°C，就夏季該區而言，即使是太陽輻散致使地面增溫，也不可能使地面溫度高達44°C，因此我們推論MCS移出青藏高原後之發展較可能是由環境的動力機制強迫而來，而不是熱力所驅動，但是潛熱釋放過程對於系統之維持與增強，我們相信其仍扮演了一個相當重要的角色。另外比較00 Z與12 Z各指數的差，我們發現變化最大的是KI值與LI值，KI由00 Z的39增加爲12 Z的42，LI則由6降爲-3，SWEAT則由255升至263，綜合而言，雖然探空曲線上有關氣塊動能的分析及計算的過程均是以氣塊法爲之(air Parcel method)，而氣塊法有其不盡完整的理論基礎，然而其結果仍明顯地指示出氣塊

運動與環境間的關係，而逆溫層之存在，暖平流，舉升凝結高度的降低，可降水量的增加，各指數的變化及雲圖上的變化和地面觀測的結果，我們推論在此個案中動力舉升比熱力驅動要重要，然而潛熱釋放仍應扮演著相當程度的重要性。

六、結論與建議

葉(1977)曾指出，青藏高原上的低渦多見於高原之中部及東部，當客觀環境有利時，高原上可連續生成低渦，有時亦可由高空槽綫帶出至華中及華南地區；本個案所研究的主要二個MCS，均可由雲圖中追蹤其源地為青藏高原上的對流系統，從熱力、穩定度及綜觀環境場上之分析，我們發現：

- (一)低層暖平流、低層水汽自南方洋面上之供輸是有利的因子之一，LLJ之存在不易判別究竟是因或果，渦度上而言，MCS的發展幾乎均在正渦度平流區域內，500MB渦度平流的分布，約略可以與MCS強度變化找出一些相關，此與Quasi-Geostrophic ω 方程式的結論一致，另外500MB孟加拉灣附近的低壓存在，使得環境場中南風分量引入青藏高原充沛水汽，綿綿不斷地使對流活躍於高原之上。
- (二)熱力分析中，總指數與K指數較其它指數更能指示MCS後續之移動情形，探空曲綫分析顯示，促使環境有利MCS發展或移入的因子較為可能是動力的特性而非由熱力來驅動，然而潛熱釋放對於MCS的維持及發展仍應扮演著相當重要的角色。
- (三)本文僅為研究的第一部分，定量分析渦度、溫度平流，輻散輻合以及垂直運動場的分布等，將是我們第二部分的重點，另外青藏高原上連續且活躍的對流活動，以及如何地東移出高原，組織為MCS，發展亦是後續值得探討的重點。

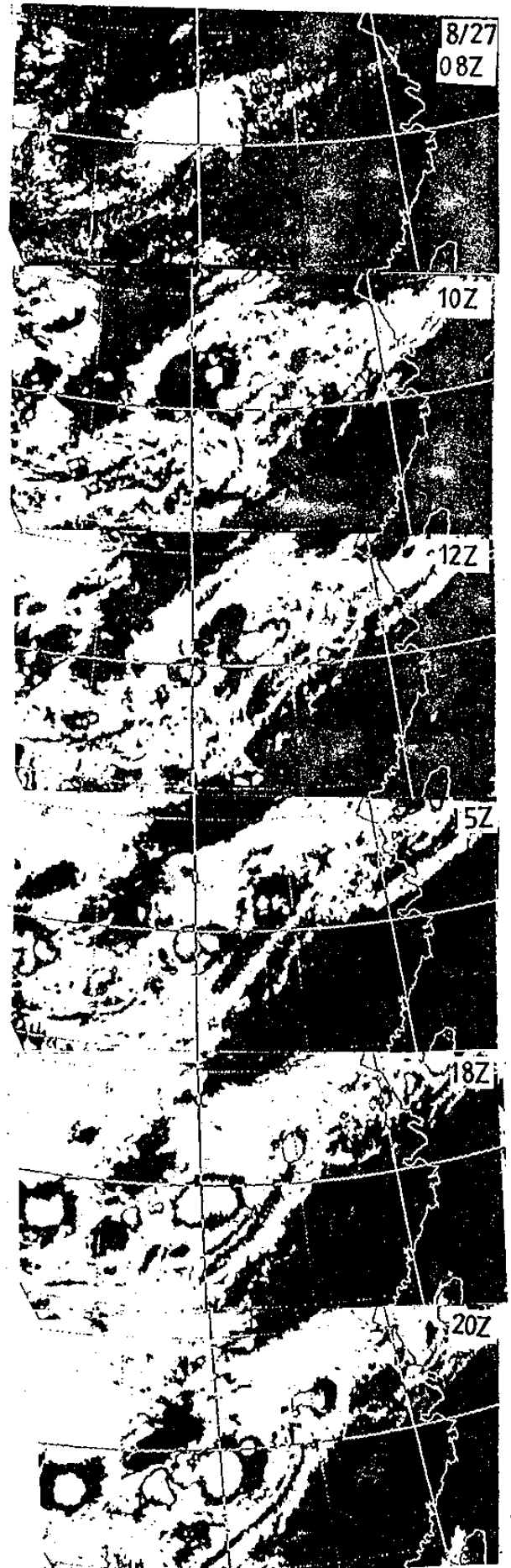
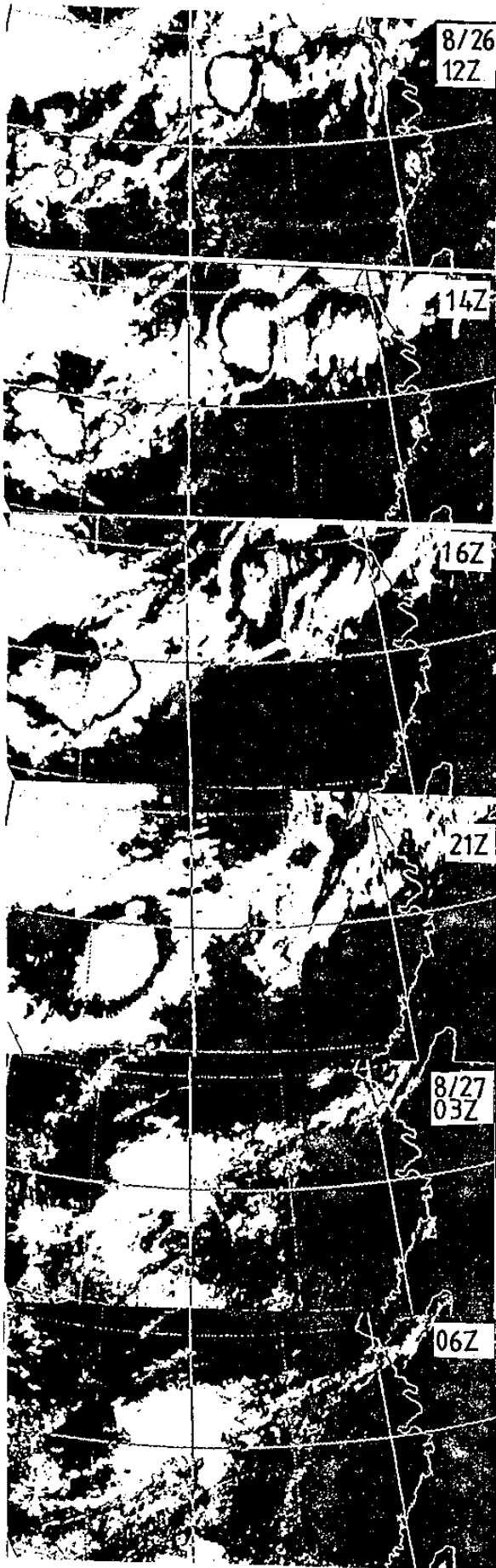
七、致謝

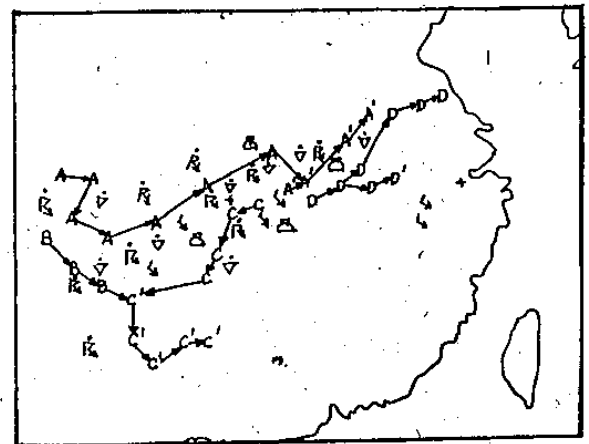
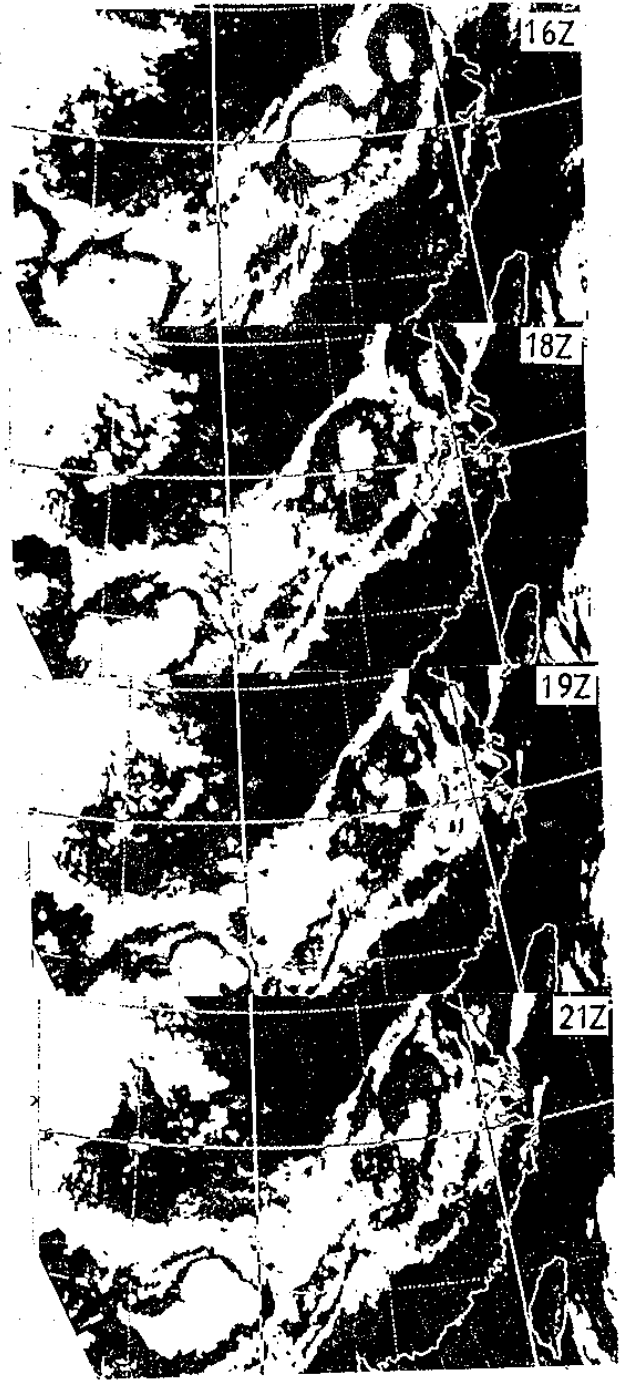
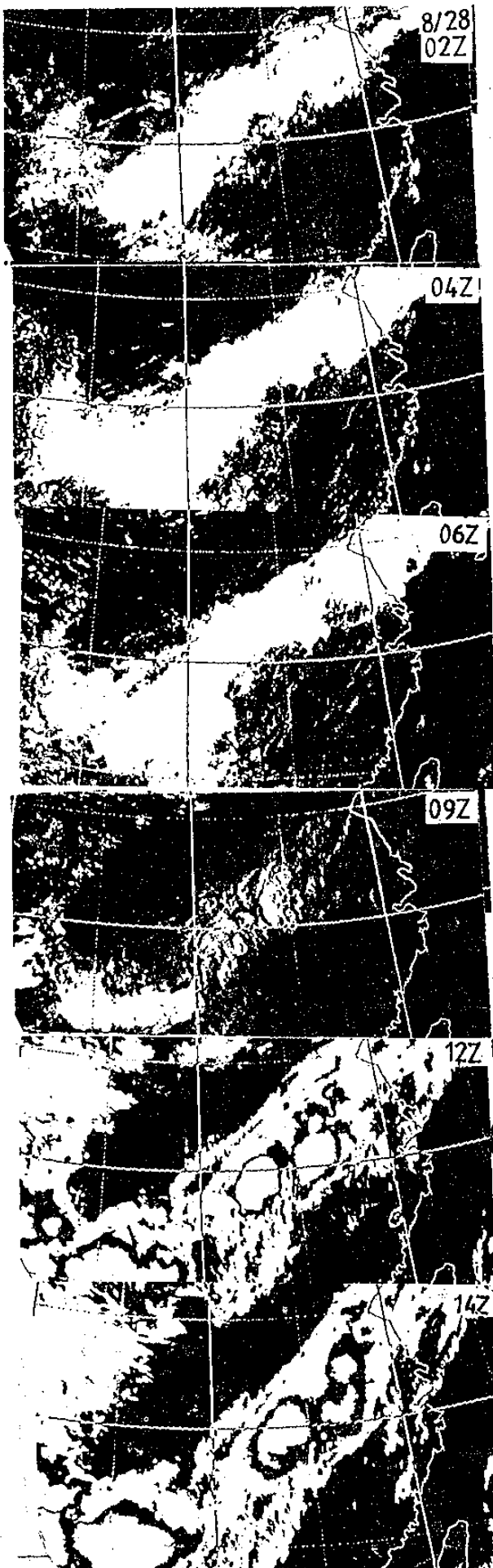
本文之完成承蒙聯隊長劉將軍指導斧正；鍾開章上尉協助整理資料，簡敏慧小姐資料輸入，許勝焯資料處理，使得本文能如期完成，在此一併致最高之謝忱。

參考文獻

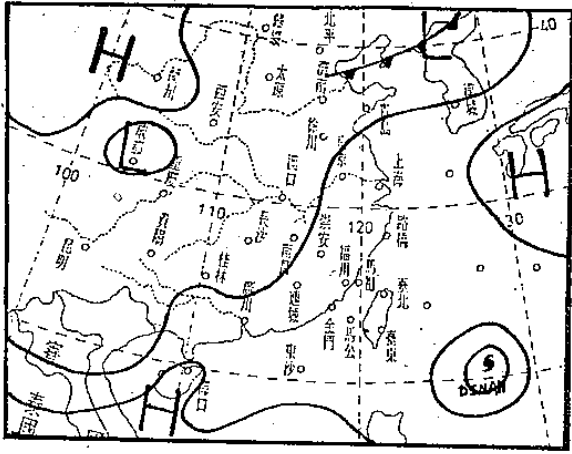
1. 陳景森、丘台光、王時鼎，1986：梅雨期間中尺度對流系統的初步研究(I)中尺度系統的演化，第四屆全國大氣科學研討會論文集編 p. 217 ~ 233。
2. 葉篤正：青康藏高原氣候學。
3. ETAC, AWS/TR-79/006, 1979: The use of the Skew T. Log P diagram in analysis and forecasting, Air Weather Service (MAC) U.S.A pp.145.
4. Zhou, X.P. and X.F. Hu, 1984: A brief analysis and numerical simulation of the Sichan extraordinarily heavy rainfall event. Proceedings, First Sino-American Workshop on Mountain Meteorology. A.M.S., p.555-565.
5. Maddox, R.A., 1980 a: An Objective technique for separating macroscale and mesoscale features in meteorological data. Mon. Wea. Rev., 108, p.1108-1121.
6. Maddox, R.A., 1980 b: Mesoscale Convective Complexes. B.A.M., A.M.S., 61, p.1374-1387.
7. Scofield, R.A, 1986: Satellite Characteristics of heavy rainfall events over China between June 23 and September 21, 1985. 11th conference of weather forecasting and analysis, A.M.S. p.321-329.
8. Purdom, J.F.W., 1986: Satellite contributions to convective scale weather analysis and forecasting, 11th conference of weather forecasting and analysis, A.M.S. p.295-314.
9. Maddox, R.A., 1981: The structure and life-cycle of midlatitude mesoscale convective complex. Department of Atmospheric science C.S.U., p.312.

圖一 76年8月26日至28日GMS-3衛星雲圖

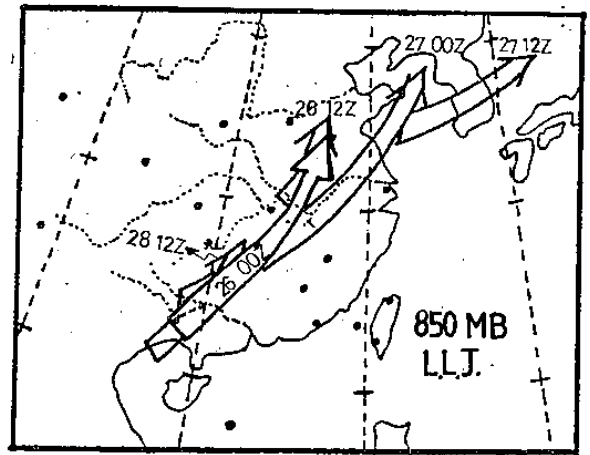




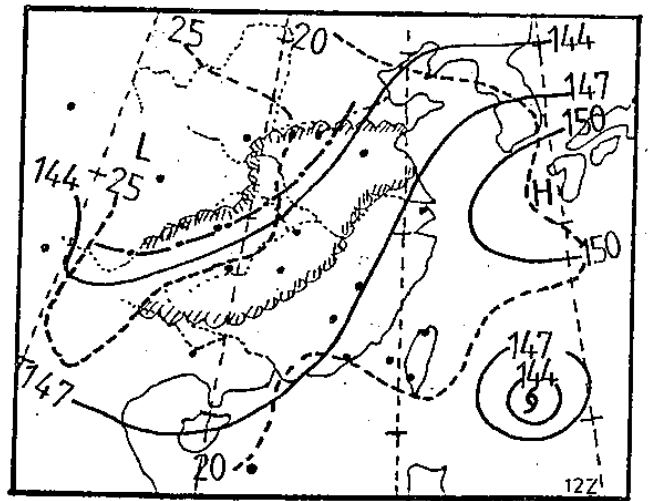
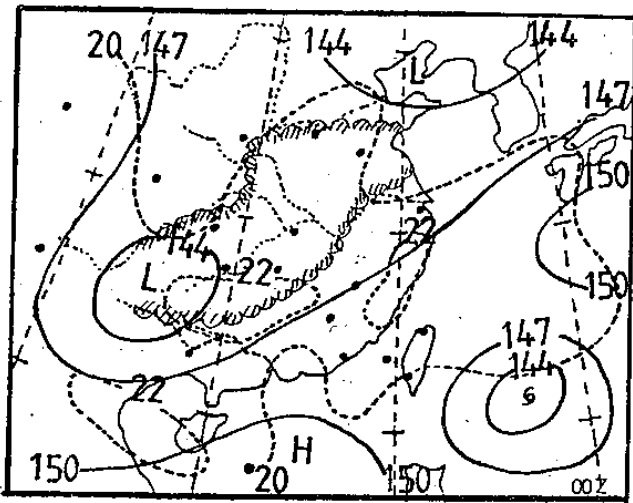
圖二.8月26~28日主要對流系統之移行及伴隨天氣現象



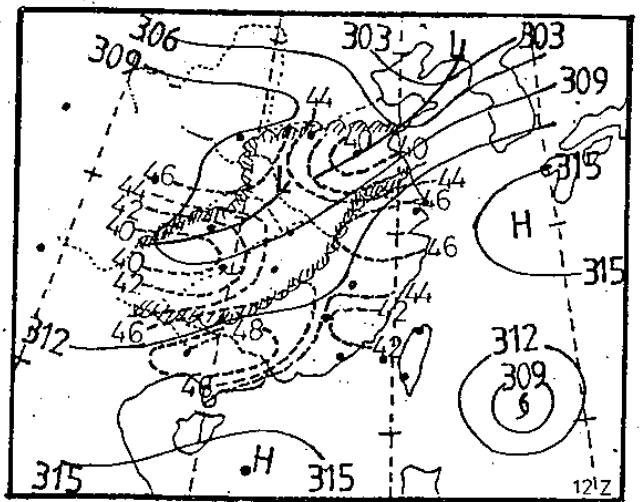
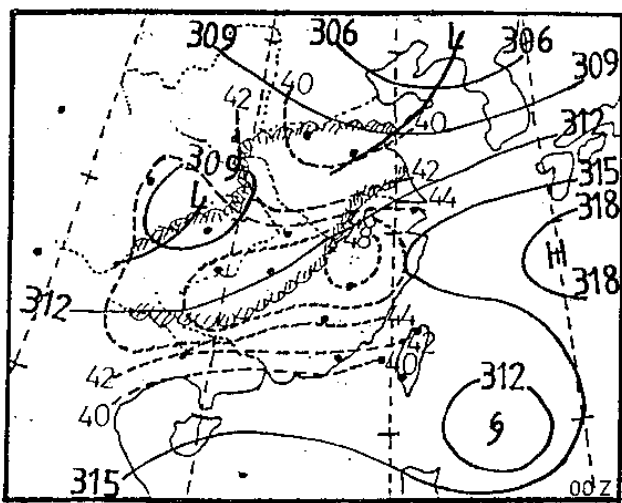
圖三 8月28日 00 Z地面天氣圖



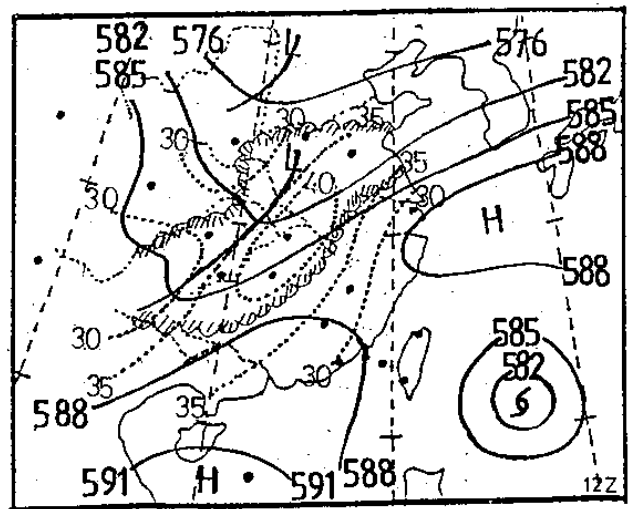
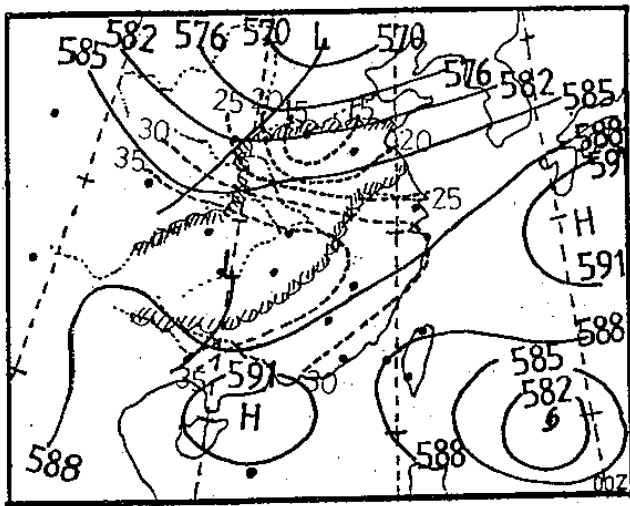
圖四 8月26日至28日 850 mb 低層噴流示意圖



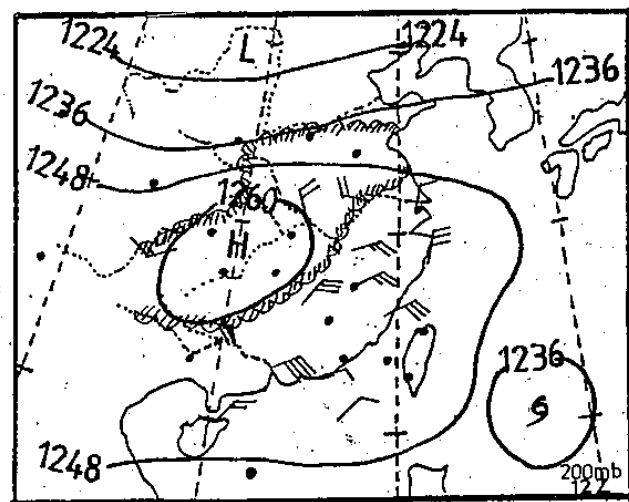
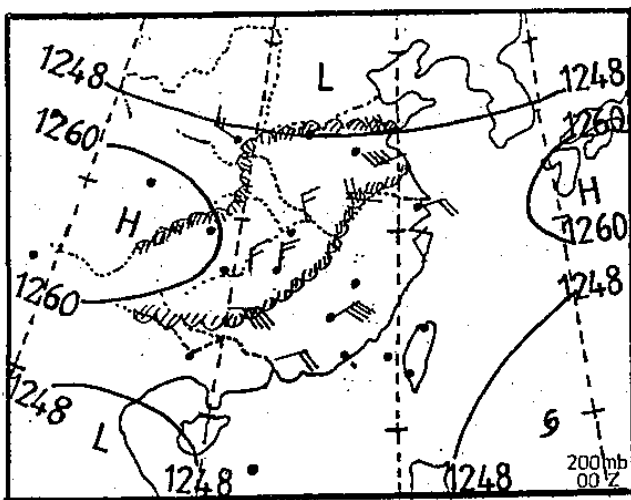
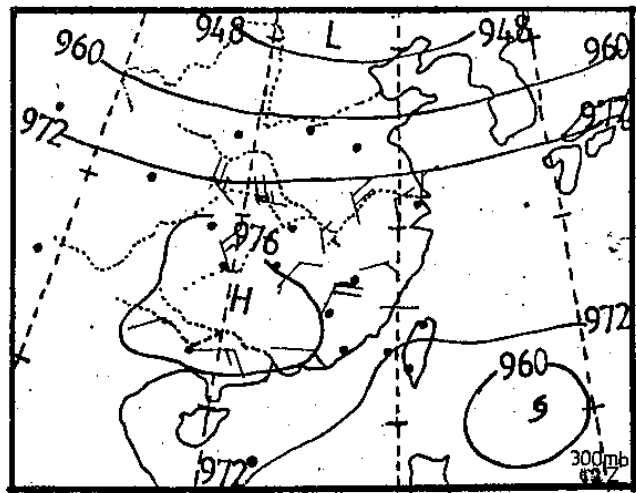
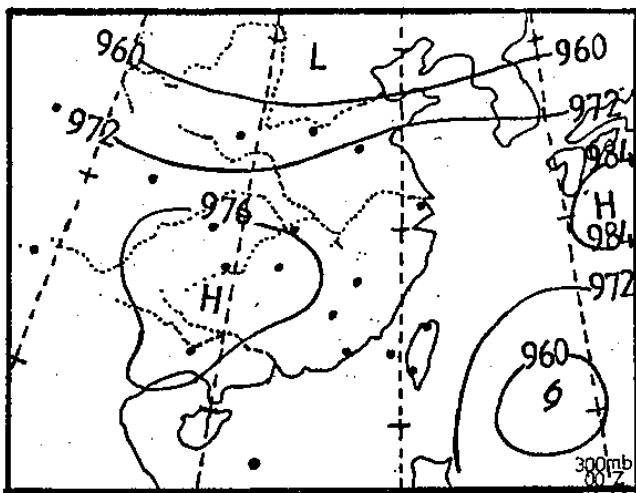
圖五 8月28日 00 Z及12 Z之 850 mb 天氣圖、雲圖示意圖，虛線為等溫綫



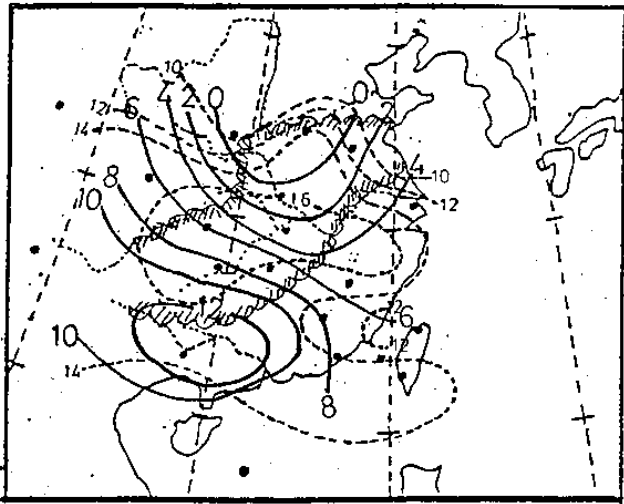
圖六 8月28日 00 Z及12 Z之 700 mb 天氣圖，實綫為等高綫，虛綫為 K I



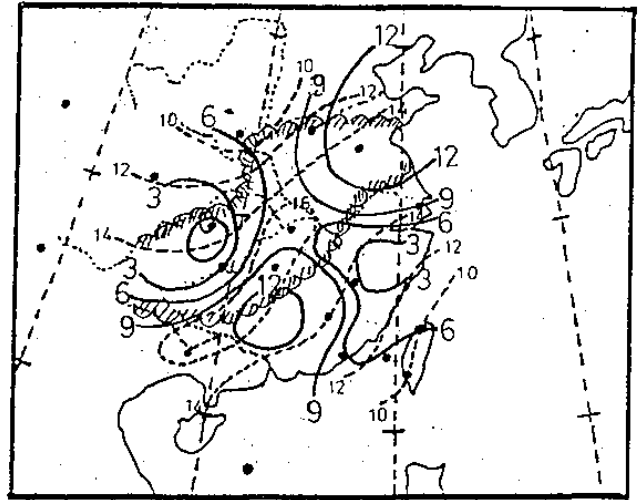
圖七 8月28日 00 Z及12 Z之 500 mb 天氣圖，實綫爲等高綫，虛綫爲K I



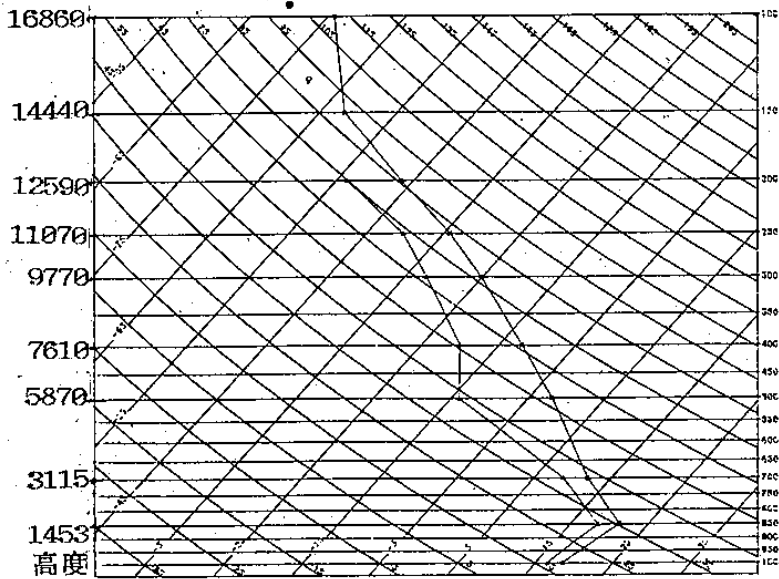
圖八 8月28日 00 Z及12 Z之 300 mb、200 mb 天氣圖及風場



圖九 8月28日00 Z, 實綫為 $\theta_{e, 850mb} - \theta_{e, 500mb}$
點綫為850 mb 比濕



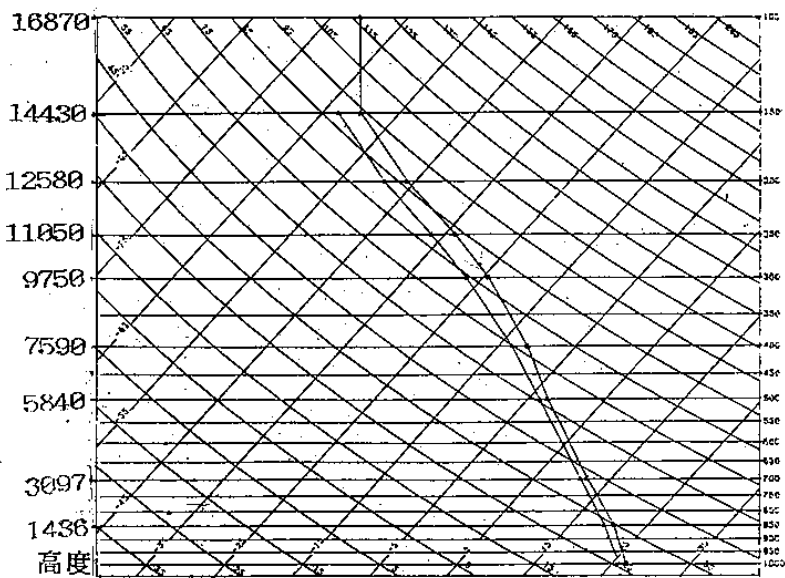
圖十 8月28日12 Z, 實綫為 $\theta_{e, 850mb} - \theta_{e, 500mb}$,
點綫為850 mb 比濕



圖六 57494 測站 8月28日 00 Z 之斜溫圖

330	06
300	09
315	08
315	05
320	09
260	09
230	10
210	09
220	11

SI = -2
LI = 6
KI = 39
TTI = 44
LCL(BL) = 922 MB
CCL = 673 MB
TC = 44 DEG C
SWEAT = 255
LFC(BL) = -999 MB
EL(BL) = -999 MB
+AREA(CCL) = 215 J/KG
-AREA(CCL) = 1177 J/KG
+AREA(LCL) = 45 J/KG
-AREA(LCL) = 2577 J/KG
PRECIP. WATER = 5 MM



圖七 57494 測站 8月28日 12 Z 之斜溫圖

270	07
265	11
260	12
265	12
270	15
200	12
235	11
235	12
220	09

SI = -3
LI = -3
KI = 42
TTI = 45
LCL(BL) = 945 MB
CCL = 955 MB
TC = 20 DEG C
SWEAT = 263
LFC(BL) = 921 MB
EL(BL) = 153 MB
+AREA(CCL) = 1294 J/KG
-AREA(CCL) = 0 J/KG
+AREA(LCL) = 1232 J/KG
-AREA(LCL) = 0 J/KG
PRECIP. WATER = 7 MM

An Investigation on two Mesoscale Convective System from Tibet Plateau Part I: The Evolution of Mesoscale Systems

Chi-en Lee Da-Gang Pan

Weather Central, C.A.F.

ABSTRACT

The characteristics of Tibet Plateau during summer are similar to those of tropical ocean. Both of them are heat source, having unstable temperature stratification, active convective activities, and similar vortices.

Since this paper is the first part of two mesoscale convective systems from Tibet Plateau occurred during August 26 and August 28, 1987, we aim at the evolution of them. A series of synoptic weather analysis, satellite analysis, sounding analysis and stability analysis were performed. Our results indicated that these MCS have different moving speeds and the existence of cyclones at north east Bangladesh Bay provided abundant moisture into Tibet Plateau, which, with proper triggering mechanism, caused active convective activities.

According to the sounding analysis, we found that dynamic forcing might be much more important than thermal forcing after MCS moved away from Plateau. The movement of MCS seemed to follow the maximum TTI and KI area. Nonetheless, we still believe that latent heat release mechanism should have certain critical effect on the development and organization processes of these MCSs.