

梅雨季劇烈降水個案之分析研究

廖杞昌¹ 李昌運²

國防大學理工學院環境資訊及工程學系¹

空軍氣象聯隊²

摘要

本文利用2008年SoWMEX (Southwest Monsoon Experiment; 西南氣流觀測與豪雨預測實驗, 簡稱西南氣流實驗) 期間的密集觀測資料與WRF模式 (Weather and Research Forecast model) 模擬資料, 針對其中IOP6個案, 梅雨鋒面所伴隨之中尺度對流系統, 當其移近台灣時, 系統演變的過程, 並對其結構與特徵進行診斷分析。

個案綜觀環境資料顯示, 台灣附近及南海地區受到滯留鋒面影響, 低層風場呈現一風場切變的狀況, 配合水氣與低層風場輻合加強, 形成有利環境, 致使中尺度對流系統於發展過程中持續發展; 在MCS (Mesoscale Convective System; 中尺度對流系統) 發展過程中發現其結構呈正負渦對偶的特徵, 配合中高層的槽線系統移入, 更在MCS發展過程中促進其發展, 並使對流系統生命期延長, 進而移入台灣南部, 在短時間形成劇烈降水。

關鍵字: 梅雨鋒面、MCS、SoWMEX

一、前言

東亞地區為全球季風系統最活躍的地區, 主因其位於全球最大的陸塊 (歐亞大陸) 與全球最大海洋 (太平洋) 之交界區域, 冬季受到蒙古高壓所伴隨的大陸冷氣團影響, 天氣寒冷, 為東北季風的型態, 夏季則受太平洋副熱帶高壓所伴隨的熱帶海洋暖氣團影響, 高溫炎熱, 且主要為西南風場; 在春末夏初冷暖季節交替時, 大陸冷氣團勢力逐漸消退, 影響範圍也逐漸北退, 而在此時, 太平洋副熱帶高壓則逐漸增強並向西伸展, 與從南海及孟加拉灣北上的暖濕氣流, 其低層大範圍的西南風涵蓋了東南亞、華南以及西太平洋副熱帶地區, 與北方系統成一低層輻合帶, 常有鋒面反覆生成與消散, 形成後多半於台灣地區呈滯留狀態, 並提供舉升條件而形成雲帶, 導致連續性降水或對流性降水, 而連綿細雨是我們所熟悉的特徵, 但期間梅雨鋒面所伴隨的豪 (大) 雨常因短時間的劇烈降水導致嚴重災害 (陳與紀, 1978; 陳與蔡, 1978)。

陳 (2004) 指出在台灣地區降水量氣候值之季節分布, 顯示5月中旬至6月中旬存在一顯著的相對極值, 此期間即為台灣的梅雨季, 在此期間, 大陸冷氣團勢力已逐漸轉弱, 雖仍不時可達華南、台灣一帶, 但南方系統也漸漸北抬, 同時副熱帶高壓勢力也正逐漸成長, 使得台灣、華南地區成為冷暖空氣交界區, 加以南方提供暖濕水汽, 增加了這一區域的不穩定度。

Chen(1992)及Fang(1985)指出梅雨鋒面是一個綜觀尺度的現象, 但造成豪大雨的主要天氣系統卻是其伴隨的中尺度對流系統; 梅雨季期間可以藉由衛星雲圖上發現鋒面系統的位置上呈現一由東北向西南延伸的帶狀雲系, 而其中並挾帶著強烈的中尺度對流系統, 這些中尺度對流系統隨著梅雨鋒面向台灣地區移動, 造成台灣地區連續性降水或強烈的對流性降水。Chen and Tasy(1978)發現梅雨鋒面及鄰近低層具有大尺度強烈氣旋式渦度、水平輻合、上升運動及含有豐富水氣等等現象。而Chen et al (1998) 提出梅雨鋒面南側的低層噴流是暖、濕空氣的輸送帶, 也是促使豪雨發生的重要因子, 由上可知梅雨鋒面提供有利於對流系統發展的環境條件, 亦提供中尺度強迫機制以激發對流生成。

Smull and Houze (1985)指出在組織性對流系統的發展過程中, 中尺度對流系統易形成於條件不穩定的區域上, 且中尺度對流系統在發展增強期間, 會有數個對流胞合併成組織性對流系統的狀況, 生命期約12小時, 當主要對流胞消退之後, 該系統即進入消退期。在Houze et al (1989)提出一概念模式, 總結其所觀測到組織性中尺度對流系統內部結構與特徵, 該對流系統前側有一上升氣流, 由系統前緣低層大氣進入, 將暖濕空氣帶入主對流胞區, 此道氣流在進入主對流胞區後, 將主對流胞區之冰晶粒子往後輸送, 於主對流胞區後方形成層狀雲系; 另一道氣流則是對流系統後側的下沉氣流, 將中層的冷乾空氣帶入對流系統後側低層, 加強蒸發冷卻作用, 增強對流系統後側冷池強度, 加強舉升作用, 以利於對流系統持續發展。在Biggerstaff and Houze

(1991a,1991b)的研究中亦顯示出MCS (Mesoscale Convective System; 中尺度對流系統) 與MCV (Mesoscale Convective Vortex; 中尺度對流渦旋) 之間的相互關係,發展成熟的MCS,其主對流區為一正相對渦度區,利於上升運動,主對流區後方層狀降水區為負相對渦度區,配合層狀降水所帶來的拖曳作用,加強冷池強度,如此正負渦對偶的情形,加強系統舉升作用,使對流系統持續發展。

由上述的內容可知,梅雨鋒面的水氣主要來自於南海一帶的暖濕氣流,因此本研究將運用SoWMEX實驗計畫的海上觀測資料,來印證數值模式所模擬之結果,並探討個案中MCS演變過程。

二、研究方法

本文使用WRF (Weather and Research Forecast model) V2.1.2 版,以NCEP (National Centers for Environmental Prediction; 美國國家環境預報中心) Global Final Analyses $1.0^{\circ}\times 1.0^{\circ}$ (簡稱FNL) 解析度的全球模式分析場為初始場進行數值模式模擬,每1小時輸出一筆資料。網格設定中心為東經 121° 北緯 23.55° ,並設定為兩層巢狀網格,其中Domain1(D1)解析度15 km,網格數 150×115 ; Domain2(D2)解析度5 km網格數 184×130 ; 垂直風向為追隨地勢的 η 座標,共31層,且對流層頂為50hPa。

本文中希望藉由數值天氣模式解析IOP6之中尺度對流系統之生成機制與其結構特徵,模式設定如表 3.1。簡等(2006)提出數值模式會因其物理參數設定不一、網格解析度、與預報時間長度,進而產生不同的結果;其中又以物理參數法設定影響最為明顯,在本文中所研究之方向為探討東亞地區在梅雨鋒面的綜觀環境下,所產生之中尺度對流系統的結構與機制,因此參考洪等(2006)統計分析的結果,在本文所採用WRF模式設定之微物理參數法為WSM5 scheme,積雲參數法為Kain-Fritsch scheme,邊界層參數法為YSU scheme。

三、綜觀天氣

本文個案在綜觀環境分析上,可由6月4日0000 UTC地面天氣圖(圖1a)發現鋒面低壓中心位於日本東南方洋面,鋒面自此向西南延伸經台灣地區至南海一帶,南海一帶處於明顯西南風場,但西南風強度尚未到15 m/s。1200 UTC鋒面受高壓勢力影響,略為南移,系統移至巴士海峽一帶。5日0000 UTC (圖 1b)發現台灣海峽南部一帶有一低壓環流,該低壓環流隨時間向東移動;1200 UTC移至台灣東部外海一帶,滯留鋒面在台灣南部與巴士海峽之間徘徊。

台灣地區與南海一帶於個案期間持續受到滯留鋒面影響,風場主要為西南向。

4日0000 UTC 850 hPa與700 hPa等高圖可分析出日本南方洋面至台灣地區有一相對溼度較高的區域,呈帶狀分布,鋒面相對位置與相對溼度場高於80% 以上之區域相符,南海地區鋒面系統上的相對溼度高於90%,為相對溼度最高之區域,台灣東部外海有一強風區,其位於鋒面系統南側一帶,且台灣海峽南部至福建廣東沿海一帶發現一風場切變的情況;700 hPa與850 hPa相對溼度場分布相似,台灣地區與南海一帶為相對濕度較高之區域,且呈帶狀分布。1200 UTC 850 hPa與0000 UTC進行比較,相對溼度場高於90% 之區域略為縮小,南海一帶風場逐漸增強,約到15 m/s,且於南海東部一帶(東沙島一帶)發現風場呈現氣旋式環流的情況;700 hPa相對溼度場與850hPa分布相似,且分析出一低壓位於南海東北部一帶的情況。5日0000 UTC於地面圖分析出一低壓位於南海一帶,850 hPa雖未分析出低壓,但可由風場分析出一低壓環流位於台灣海峽南部,雖風場較4日風速雖未明顯增強,但風速達15 m/s之區域呈擴大之趨勢;700 hPa則可分析出一低壓位於台灣海峽南部一帶,且相對溼度高於90% 之區域東移至台灣南部一帶。1200 UTC台灣東部外海至巴士海峽一帶相對濕度達80% 以上。

由4日0000 UTC 500 hPa等高圖(圖2a)可知台灣地區位於明顯正渦度區且槽線系統低壓中心位於山東半島向西南延伸至華南地區,在大陸東南沿海一帶分析出一短波槽;1200 UTC時台灣中南部位於明顯正相對渦度區,且於低層(850hPa、700hPa)南海一帶分析之風場輻合的現象,有明顯正相對渦度,該相對位置之相對渦度較0000 UTC為高,短波槽由大陸東南沿海一帶移至台灣海峽南部一帶。由5日0000 UTC 500 hPa等高圖(圖2b)可發現於低層分析出之南海一帶的低壓環流南移至台灣海峽南部一帶的相對位置上,該區域處於一明顯正渦度區中,短波槽隨時間東移至巴士海峽一帶,1200 UTC時台灣東部外海一帶位於明顯正渦度區,逐漸往東北移動,至6日0000 UTC移到台灣東北部外海一帶。

四、模擬分析

本個案中尺度對流系統發展環境顯示(圖3),6月4日1200 UTC鋒面系統位置在臺灣南部一帶,呈東北-西南走向,低層風場發現一風場切變的情況,而鋒面南側為西南風場的低層噴流,低層噴流持續將系統南側的水汽往北傳送,在多項有利的條件配合下,梅雨鋒面及低層噴流間容易生成MCS。因梅雨鋒面的南方為暖區且水氣含量多(圖4),相對溼度達80% 以上,提供不穩定的條件易使空氣抬升,

近地面處的風場輻合作用，將水氣於該區集中，低層水氣隨氣旋式環流進入輻合區，當水氣不斷往內進行質量累積後，便往上抬升，於中心附近產生上升運動，上升過程中因為冷卻作用使得水氣產生凝結，將水氣中潛熱釋放，導致中心附近大氣環境溫度上升，環流中心氣壓下降，致使向內氣壓梯度增大，增強低層氣旋式環流強度，使得輻合作用愈加增強，水氣輻合作用更為增強，對流系統之中心氣壓不停降低，持續進行此質量調節的循環，如可發現在本個案中 MCS 的生成發展，與潛熱釋放、風場變化三者間的關係十分密切。MCS 在發展過程中因對流潛釋放造成強烈的輻合作用，質量調節的過程中加速西南風場的分量，增強環境風場並生成 LLJ。而風場南風分量的增加也使得梅雨鋒面北退至臺灣南端，同時又會帶來南方海面上豐沛的水氣，強外力作用下更易使得大氣不穩定，易有上升輻合的作用，因此易形成利於中尺度對流系統發展之環境（圖5）。

個案中由相當位溫垂直剖面(圖6)可發現，MCV 所形成之北風分量，帶來北方冷乾空氣於對流系統後側形成一冷空氣區，與其由南風分量所帶來的暖濕空氣，於對流系統位置，形成明顯的溫度梯度，垂直剖面之相當位溫呈垂直分布的趨勢，可知在此區域形成一明顯氣壓梯度，由700hPa-1000hPa垂直風切強度可發現，垂直風切隨時間明顯增強，因此在上述有利中尺度對流系統發展的環境之下，配合 MCV 所形成的強垂直風切與冷池效應，使對流系統逐漸增強。

五、初步結論

本文針對2008年SoWMEX計畫期間6月4日至5日，梅雨鋒面滯留於台灣南部地區，為南部地區帶來大量降水，並形成多處淹水之豪大雨事件進行研究。個案中發現原位於南海一帶的對流系統在東移過程中逐漸減弱，後來受到低層噴流與水氣輻合的影響，使原本減弱的對流系統轉強，並在台灣南部地區形成劇烈降水，且該對流系統生命期亦較一般中尺度對流系統為長。因此本文利用WRF數值模式進行模擬，探討當時大氣環境場特徵，並利用SoWMEX計畫之觀測資料進行分析探討，藉以瞭解梅雨季豪大雨的發展機制。

數值模擬資料顯示，綜觀大氣環境為鋒面系統滯留於台灣南部與南海一帶，低層噴流位於鋒面系統南側，配合南海一帶豐沛的水氣，低層噴流將水氣輸送至該地區，有利於對流系統的發展，提供有利於中尺度對流系統發展之不穩定環境，使對流系統在此鋒面系統上持續生成、發展，由此證明伴隨梅雨鋒面之中尺度對流系統的發展與低層噴流的位

置及強度變化密切相關。低層噴流及水氣分布的合成環境條件，顯著影響梅雨鋒面中尺度對流系統的空間分布，致使降水區域與低層噴流軸方向及水氣較高區域有重合的現象。模擬結果亦顯示，台灣海峽南部低層風場切變，所提供之風場輻合，亦是利於中尺度對流系統發展的大氣環境。

此次個案之中尺度對流系統其演變過程，主要由風場切變提供風場輻合作用，低層水氣隨氣旋式環流進入輻合區，水氣於風場輻合中心輻合累積之後，產生舉升作用，並於上升過程進行潛熱釋放，導致中心附近中高層溫度升高，環流中心氣壓下降，致使向內氣壓梯度增大，增強低層氣旋式環流強度，使得輻合作用愈加增強，水氣輻合作用更為增強，致使氣壓持續降低，維持低壓系統的強度，形成此次個案利於中尺度對流系統發展的大氣環境。

參考文獻

- 洪景山、林得恩、簡芳菁、劉素屏、周仲島、林沛練、張文錦、繆璿如、陳致穎、雷銘中，“WRF 模式之敏感度測試 第一部分：探空測站上的校驗”，大氣科學，第34期，第1號，第241-260頁，2006。
- 陳泰然，“近期梅雨鋒面研究之回顧”，大氣科學，第32期，第3號，第225-245頁，2004。
- 陳泰然與紀水上，“台灣梅雨季之中幅度降水與中幅度低壓研究”，大氣科學，第7期，第39-48頁，1978。
- 蔡清彥與陳正改，“影響台灣北部地區之梅雨系統”，大氣科學，第7期，第49-58頁，1978。
- 簡芳菁、洪景山、張文錦、周仲島、林沛練、林得恩、劉素屏、繆璿如、陳致穎，“WRF 模式之敏感度測試第二部份：定量降水預報校驗”，大氣科學，第34期，第1號，第261-276頁，2006。
- Biggerstaff, M. I., and Houze R. A., “Kinematic and precipitation structure of the 10-11 June 1985 squall line,” *Mon. Wea. Rev.*, vol. 119, 3035-3065, 1991.
- Biggerstaff, M. I., and R. A. Houze, “Midlevel vorticity structure of the 10-11 June 1985 squall line,” *Mon. Wea. Rev.*, vol. 119, 3066-3079, 1991.
- Chen, G. T.-J., “Mesoscale features observed in the Taiwan Mei-Yu season,” *J. Meteor. Soc. Japan*, vol. 70, pp. 497-515, 1992.

Chen, G. T.-J., and Tsay, C.-Y., "A synoptic case study of Mei-Yu near Taiwan," *Papers Meteor. Res.*, vol. 1, pp.25-36, 1978.

Chen, C., Tao, W.-K., Lin, P.-L., Lai, G. S., Tseng, S.-F., and Chen Wang T.-C., "The intensification of the low-level jet during the development of mesoscale convective systems on a Mei-Yu front," *Mon. Wea. Rev.*, vol. 126, pp. 349-371, 1998.

Fang, Z., "The preliminary study of medium-scale cloud cluster over Changjiang basin in summer," *Adv. Atmos. Sci.* Vol.2, pp. 334-340, 1985.

Houze, R.A., Rutledge S.A., Biggerstaff M.I., and Smull B.F., "Interpretation of Doppler weather radar displays of mid-latitude mesoscale convective systems," *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 70, pp.608-619, 1989.

Smull, B. F., and Houze R. A., Jr. "A midlatitude squall line with a trailing region of stratiform rain: Radar and satellite observation," *Mon. Wea. Rev.*, vol. 113, pp.117-133, 1985.

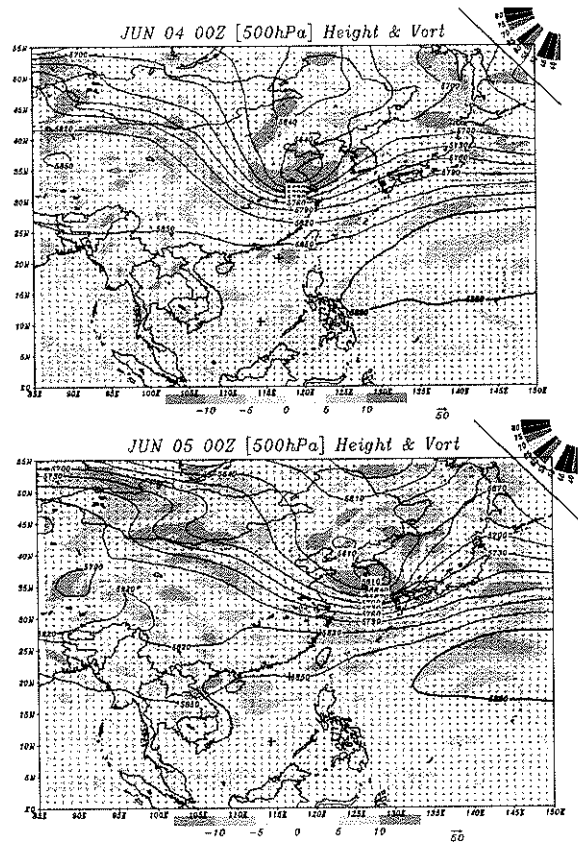


圖2. 500hPa等高圖(a)2008年6月4日0000UTC；(b)6月5日0000UTC。色階部分為相對渦度(s^{-1})；黑色實線為等高線，間距為30 gpm。

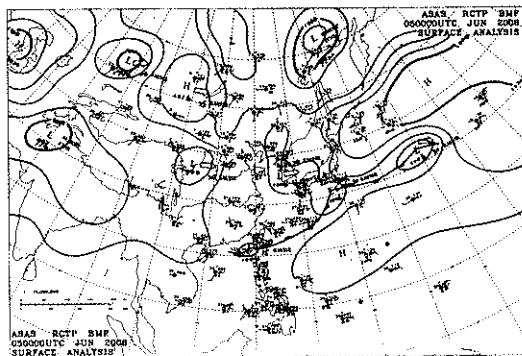
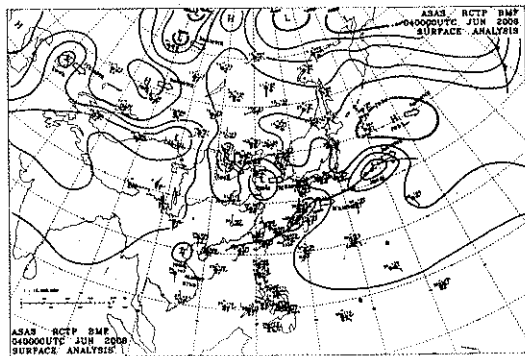


圖1. 地面天氣圖 (a)2008年6月4日0000UTC；(b)6月5日0000UTC。資料來源：中央氣象局網站。

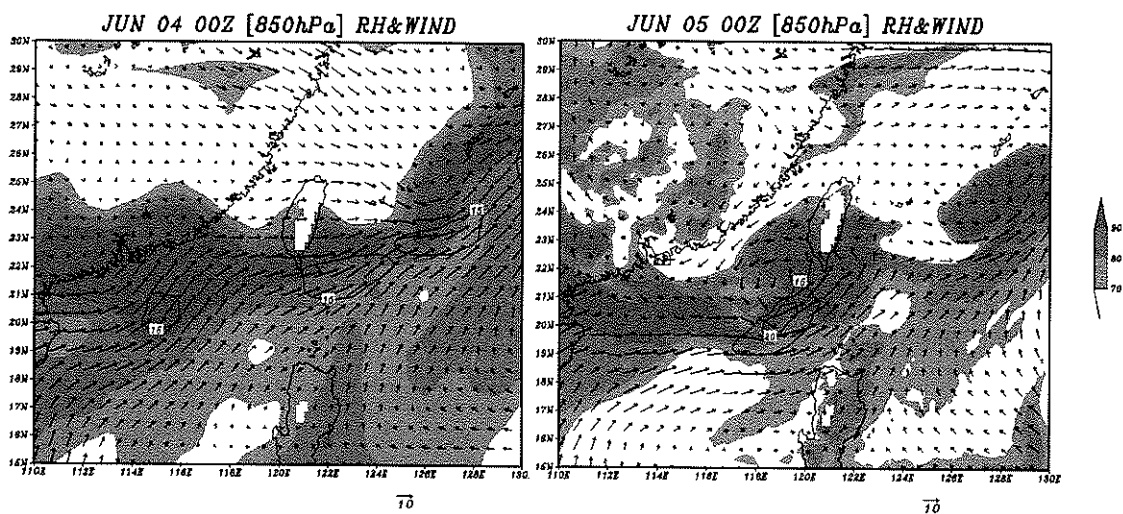


圖 3. 模式模擬 850hPa 相對溼度與風場分布圖 (a) 2008 年 6 月 4 日 0000 UTC ; (b) 6 月 5 日 0000 UTC 。色階部分表示相對濕度，最小值為 70% ，間距為 10% ；紅色實線為風速等值線，風場單位為 m/s 。

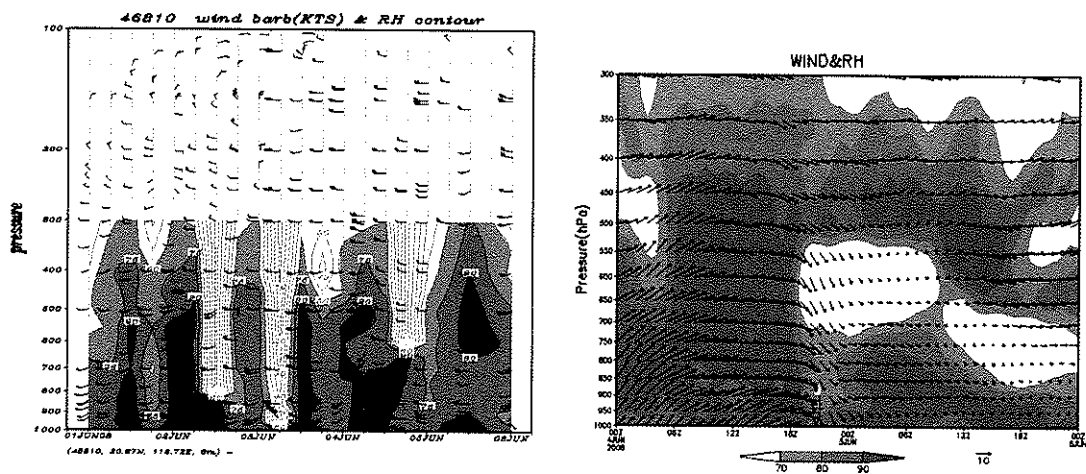


圖 4. (a) 東沙探空觀測資料相對溼度與垂直剖面風場時間序列圖。時間單位為 UTC，資料來源：SoWMEX 網站。(b) 模式模擬東沙相對溼度與垂直風場時間序列圖。色階表示相對濕度，最小值為 70% ，間距為 10% ；風標單位為 m/s 。

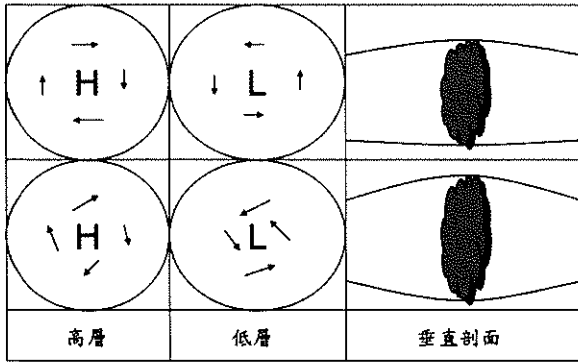


圖 5. 對流系統發展條件示意圖；高層與低層之箭號分別表示高層與低層風場；垂直剖面中的黑色實線表示等壓線，灰色部分表示大氣水氣含量。

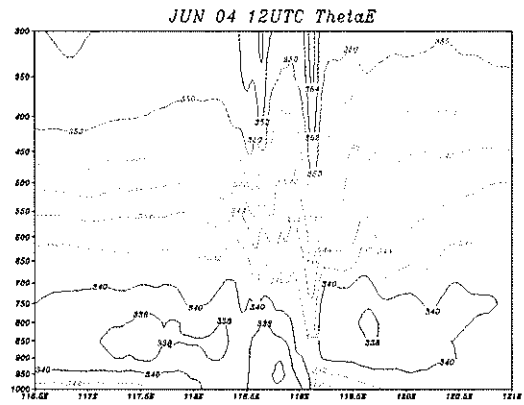


圖 6. 模式模擬 6 月 4 日 1200 UTC 北緯 21° 相當位溫剖面分布圖；實線為相當位溫等值線，單位為 K。