

梅雨季海上中尺度對流系統消長的個案分析 —海氣交互作用

劉崇治¹ 劉振榮² 郭宗華³

¹ 國立中央大學大氣物理研究所

² 國立中央大學太空及遙測研究中心主任

³ 國立中央大學太空科學研究所

摘要

本研究利用美國國防氣象衛星計畫(Defense Meteorological Satellite Program: DMSP)所發射衛星上的SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager) 微波輻射計各頻道亮度溫度資料計算海水表面溫度、近海面空氣溫濕度、海氣間溫濕度差異、近海面風速、海氣間可感熱通量及潛熱通量等各種海氣參數，並選取1997年梅雨季中兩個海上中尺度對流系統消長的個案，分別就系統發展前各種海氣參數的時間變化及空間分布情形進行分析探討。

結果顯示，在大尺度綜觀環境系統不具有利海上對流系統發展的條件之下，仍然可以透過海氣的交互作用激發出海上的中尺度對流系統。另外由本研究的結果也可以了解，個別的海氣參數對海上對流系統影響的程度應該有所不同，因此未來我們除了要增加更多的個案進行定性分析之外，同時也將定量地分析歸納出各種參數影響海上對流系統發展的程度，期望能夠發展出一種判斷海上中尺度對流系統發展與否的參考指標。

關鍵詞：海氣參數、中尺度對流系統、海氣交互作用

一、前言

台灣地區每年5、6月期間常常受到中尺度對流系統(Mesoscale Convective System, MCS)的影響而出現大量的降水(Chen et al., 1986; 1987)。事實上這種中尺度對流系統有的是存在於梅雨鋒面雲系之內，由華南一帶向東移至海上，然後在海面上迅速發展；有的則存在於南海北部之西南氣流湧動之中，同樣在海面上發展，然後移向台灣；有的甚至是直接在海面上生成並發展，然後移向台灣造成豪雨。劉等人(1999a)曾經利用衛星資料來估算梅雨季台灣附近海域之海面溫度變化情形，他們發現海面溫度的增加似乎和海面上對流系統的消長有著相當密切的關係。Sanders and Gyakum (1980)曾表示冬季海面上快速加深的氣旋經常出現在海面溫度梯度較大處。此外Bosart (1981)、Bosart and Lin (1984)及Uccellini et al. (1987)也曾表示，美洲墨西哥灣流附近常具有較大的海氣

熱及濕通量，因此可以預期此處容易有這種氣旋快速加深的可能。事實上關於海氣交互作用和天氣系統相關性的研究早在1958年Riehl and Malkus 就曾提出，他們發現對流系統的下衝氣流會增加海氣通量，這樣的結果在許多利用GATE(Global atmospheric research program Atlantic Tropical Experiment)實驗的觀測分析研究中獲得證實(Gaynor and Ropelewski, 1979; Barnes and Garstang, 1982; Johnson et al., 1983)。後來許多針對西太平洋地區的類似研究也有相同的結果(Young et al., 1992; Zipser and Casesar, 1994; Parson et al., 1994)。另外Kuo等人(1991)曾利用中尺度模式針對7個發生在大西洋上早期及快速加深期間之氣旋進行模擬分析，其結果顯示氣旋的存在與發展和海面溫度的高低與分布有密切關係，特別是在氣旋快速發展前，海氣之間具有顯著的能量通量存在。Lin and Johnson (1996)曾經利用TOGA(Tropical Ocean Global Atmosphere)

COARE(Couple Ocean Atmosphere Response Experiment)的密集觀測資料，針對三次強烈西風暴潮發生的個案進行分析，其結果顯示，最大的海氣潛熱通量發生在西風風速最大的時期，然而可感熱通量則比最大西風出現時間為早。Jobouille等人(1996)則透過三維雲模式及TOGA COARE的密集觀測資料來探討因為大氣對流所引發的表面熱通量的變化情形，其結果亦顯示系統的發展和潛熱通量的型態分布及位置非常類似。這些研究結果似乎意味著海氣交互作用和海上對流系統的消長彼此間之關係應該相當密切。透過各種海氣參數分布的了解，不但對大氣環流等氣候方面的研究來講相當重要，對海面上對流系統消長的監控和預報亦有很大的幫助。不過由於海面上傳統觀測資料實在太少，除非大型的實驗計畫，一般來講很難有足夠的資料進行分析。衛星資料的加入應用應是解決此一困難的方法之一。

劉等人(1999b)曾經利用SSM/I微波及日本同步衛星GMS-5紅外線衛星資料來建立適合台灣及南海地區附近海域(北緯0°N~30°N、東經105°E~135°E)使用的海面溫度與近海面空氣比溼的統計反演方程式，並修改Konda等人(1996)所提出來估算近海面空氣溫度的反演方法。本研究將利用劉等人(1999b)的反演方法，透過SSM/I微波輻射資料進行各種海氣參數之反演，另外亦將利用EC/TOGA的分析資料針對1997年梅雨季的兩個個案進行大氣綜觀環境場的分析，以增加關於海氣交互作用和海上中尺度對流系統相關性的了解。

二、研究方法

微波是指波長介於0.1 cm至100 cm之間的電磁波。對於處於局部熱平衡狀態的大氣而言，若不考慮降水粒子及冰晶所造成的散射作用，那麼微波波段的輻射傳送方程式便可寫成下式

$$I_v = I_{v0} \mathcal{S}_v(\tau_1 / \mu) - \int_0^{\tau_1} B_v [T(\tau')] \frac{\partial \mathcal{S}_v(\tau' / \mu)}{\partial \tau'} d\tau'$$

由於本研究所使用的DMSP-SSM/I資料，因為其頻道分佈於19~85GHz之間，避開了受陽光反射影響較大的波段，所以遙測到的輻射能量主要是來自地表與大氣的貢獻，因此利用衛星微波資料進行大氣及海面參數的反演研究基本上是可行的。本研究中用來估算海面溫度方面的做法是根據各頻道亮度溫

度與海面溫度之間的相關特性，透過統計迴歸學上的「逆向消去法」(backward elimination method)選取出最適合的頻道建立最佳迴歸方程式(Draper與Smith, 1966)。另外近海面空氣比溼的反演方面，也是利用相同的做法選用合適的反演頻道並針對台灣及南海附近海域進行迴歸方程式的建立。至於關於微波頻道在近海面空氣溫度的反演方面，則修改Konda等人(1996)的方法，相關的研究可參考劉等人(1999b)的研究論文，至於可感熱及潛熱通量的獲得則是利用總體參數法來計算。最後針對兩個台灣梅雨季的個案來探討海上中尺度對流系統發展與海氣交互作用相關性的探討。

三、資料收集與處理

本研究所使用的衛星資料包括國立中央大學太空及遙測研究中心氣象衛星實驗室所接收之GMS-5氣象衛星紅外窗區頻道資料以及裝載於美國國防氣象衛星計畫所發射衛星上的SSM/I微波輻射計觀測資料。其中GMS衛星是一地球同步衛星，位於東經140°赤道上空約36000公里處，每日提供逐時(另有四次每半小時的觀測)共二十八次的觀測。GMS-5共擁有可見光頻道(VIS)、紅外線第一頻道(IR1, 10.5~11.5μm)、紅外線第二頻道(IR2, 11.5~12.5μm)及水汽頻道(WV, 6.5~7.0μm)等四個頻道。其中可見光頻道的解析度為1.25km，而紅外線頻道則為5km。本研究將以其中的紅外頻道，作為海上對流系統的監控之用。另外裝載SSM/I微波輻射計的衛星為一太陽同步衛星(近似繞極軌道)，軌道高度約為833km，以傾角98.8°繞地球飛行(Hollinger等人, 1990)。但除了南北極半徑280km之圓形區域外，其餘均可在72小時內為衛星所掃描。其掃描方式則分為Scan A及Scan B兩種，Scan A的掃描方式包含了所有頻道的亮度溫度資料，而Scan B則只有85GHz的資料，在此為了資料解析度的一致性，故只採用Scan A之各頻道資料的特性來估算所要反演的參數。我們的分析區定在105~125E及15~30N範圍內，分析的時間為1997年5月，因此所有經過分析區域之七個頻道亮度溫度資料都將被進行分析。另外為了知道個案發生時的大尺度綜觀環境場的情況，本研究同時選用EC/TOGA 2.5x2.5的網格資料進行分析。

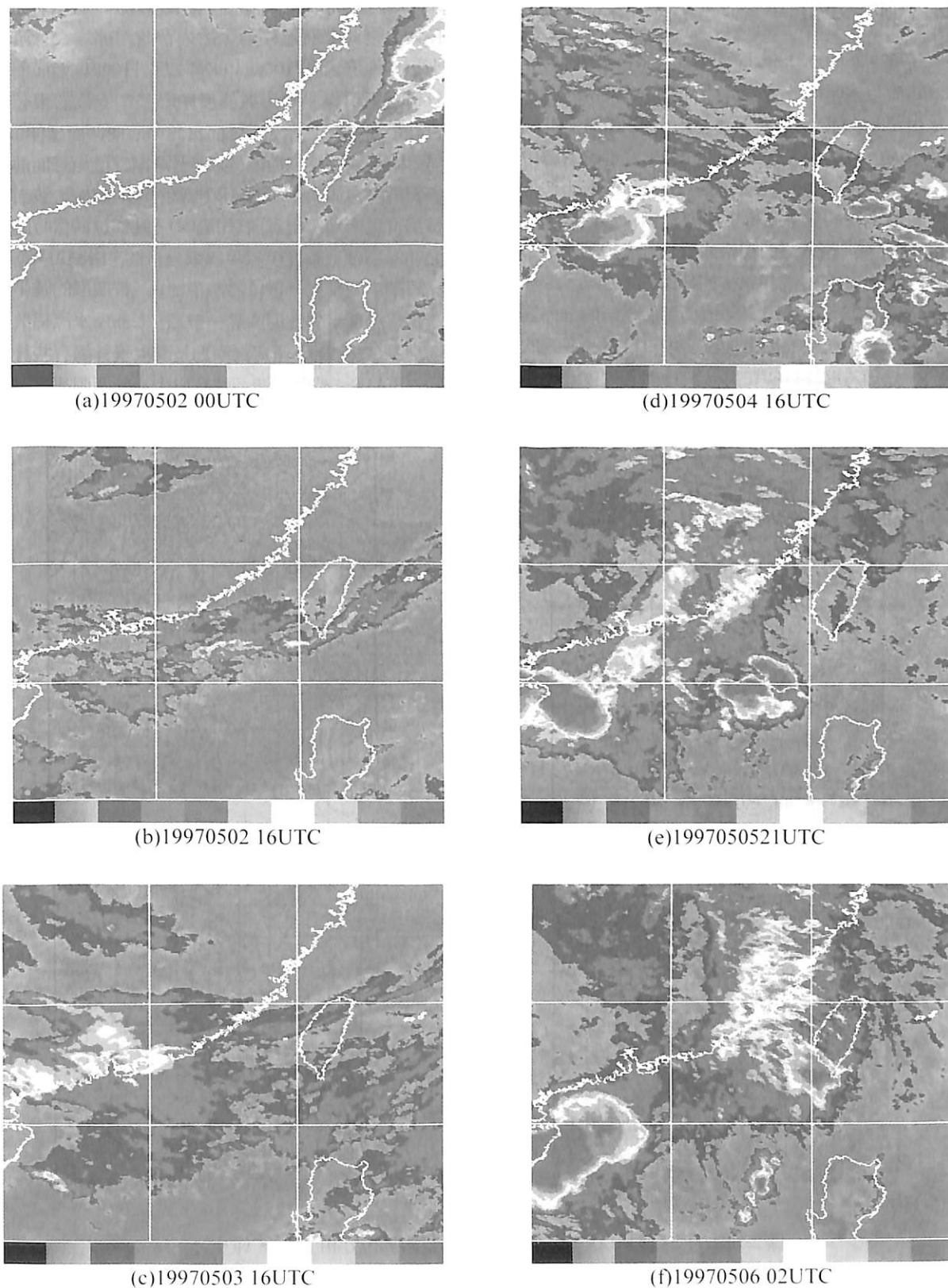


圖1 1997年5月2日至6日GMS5紅外線衛星雲圖

四、個案分析

(一) 19970504-06:

1. 綜觀天氣系統分析

由GMS-5紅外線衛星雲圖分析可知(如圖1a~f),在5月2日00UTC時鋒面雲帶正好通過台灣中北部地區,結構較完整的雲系位於台灣東北部外海,台灣上空的雲系基本上屬於結構較為鬆散且零星的低層雲。隨著鋒面雲帶的東移,大陸華南地區亦有雲系移出,然後和原本的鋒面雲系連結,形成涵蓋面積廣大的鋒面雲帶,但仍屬於淺薄的鋒面雲帶,並且該系統在海面上並沒有中尺度對流系統的發生。到了5月4日16UTC另一波鋒面雲帶逐漸東移出海,在海南島東北方外海及116-120E和

18-22N附近開始有對流系統發展,特別是後者,在長大之後向東北邊移動,造成台灣南部之大量降水。另外透過EC/TOGA 1997年5月4日00UTC地面的分析資料可以了解,氣旋波中心基本上位於東經114度,北緯32度附近,鋒面自此中心向西南延伸,另外太平洋高壓則向西伸展,台灣剛好位於鋒面前緣與高壓西側,所以台灣及南海附近的海域大致而言盛行東南到偏南氣流(如圖2a)。圖2b是同樣時間925hPa高度上溫度平流與風場分析圖,由圖可知,大陸華中到華東一帶位於冷平流區,較明顯的暖平流區位於廣東省及海南島一帶。由925hPa水汽輻散場來看(如圖2c),僅有海南島及其東邊外海有些許的水汽輻合,整個台灣海峽及巴士海峽西側都沒有

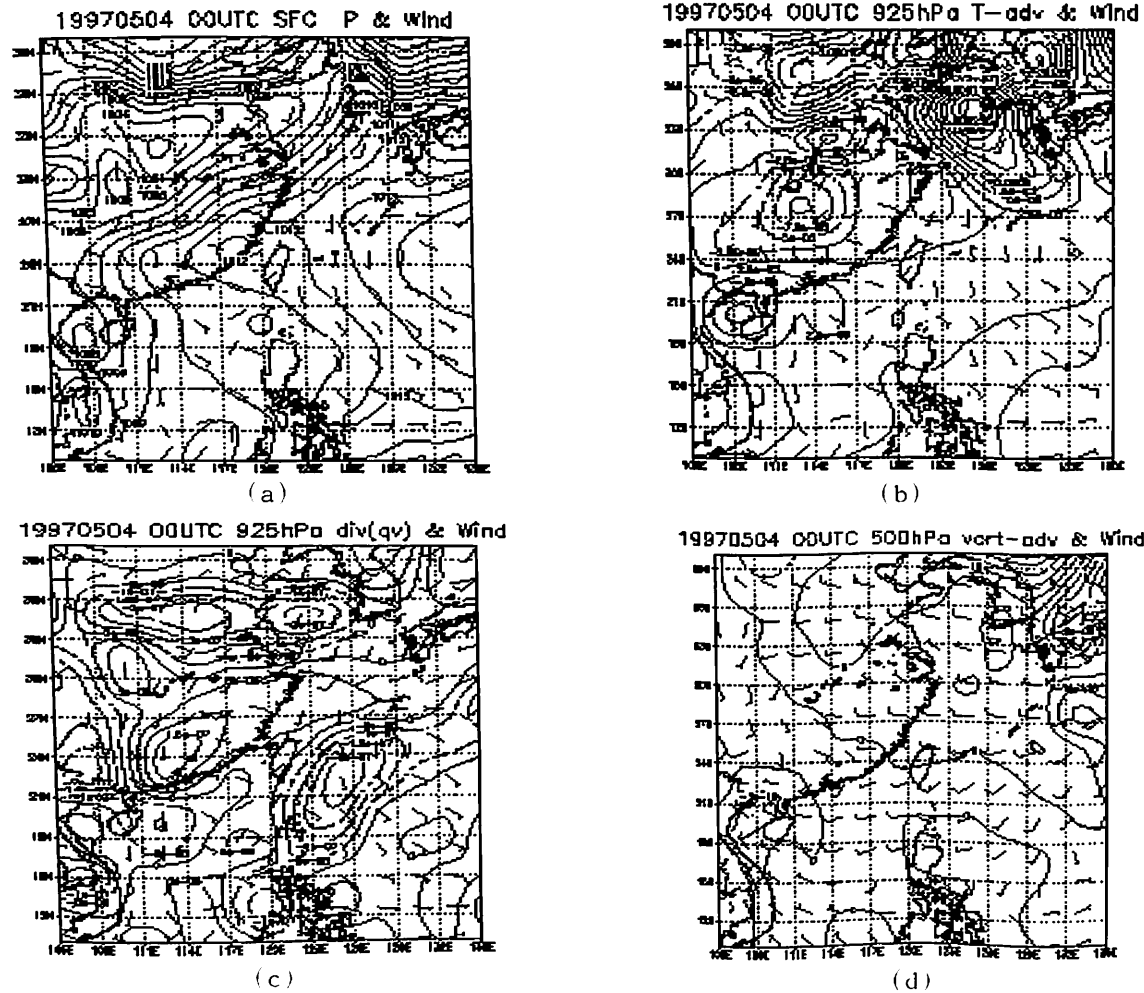


圖2 1997年5月4日00UTC EC/TOGA 各高度場的分析資料。(a) 地面風場及等壓線, (b) 925hPa風場及等高線, (c) 925hPa風場及水汽輻散場, (d) 500hPa風場及渦度平流場。

明顯的水汽輻合現象,甚至還有輻散的情形發生。850及700hPa的溫度平流場及水汽輻散場分布情形類似925hPa,只不過700hPa的水汽輻散場更為微弱。至於500hPa則沒有顯著的渦度平流存在(如圖2d)。

為了能夠對本個案大氣環境剖面場的時間序列變化情形有更清楚的了解,我們就海上對流系統

發展的位置,針對116-120E和18-22N的範圍內計算水汽輻散場、溫度平流、潛在不穩定度及垂直運動等各量場,來分析個量場的時間-高度剖面變化,由圖3a~d中可知從5月3日00UTC開始基本上該區域在850hPa以下的環境場是在水汽輻散的控制因子之下,一直到5月5日06UTC左右才逐漸有水汽的輻合情形出現。就溫度平流情形來講,5月3

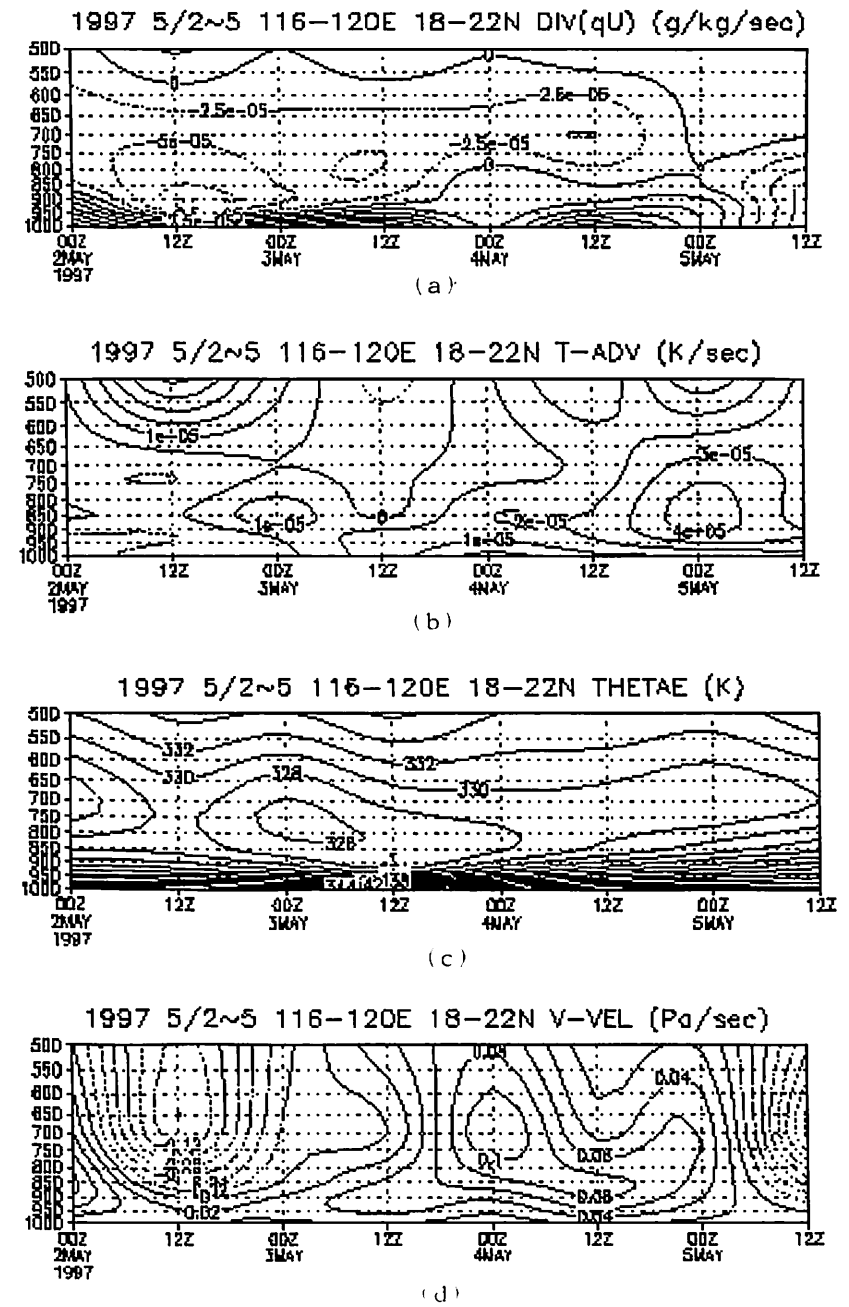


圖3 1997年5月2日至5日EC/TOGA 116-120E和18-22N範圍內, (a) 水汽輻散場、(b) 溫度平流、(c) 潛在不穩定度及(d) 垂直運動等各量場的時間-高度剖面變化圖。

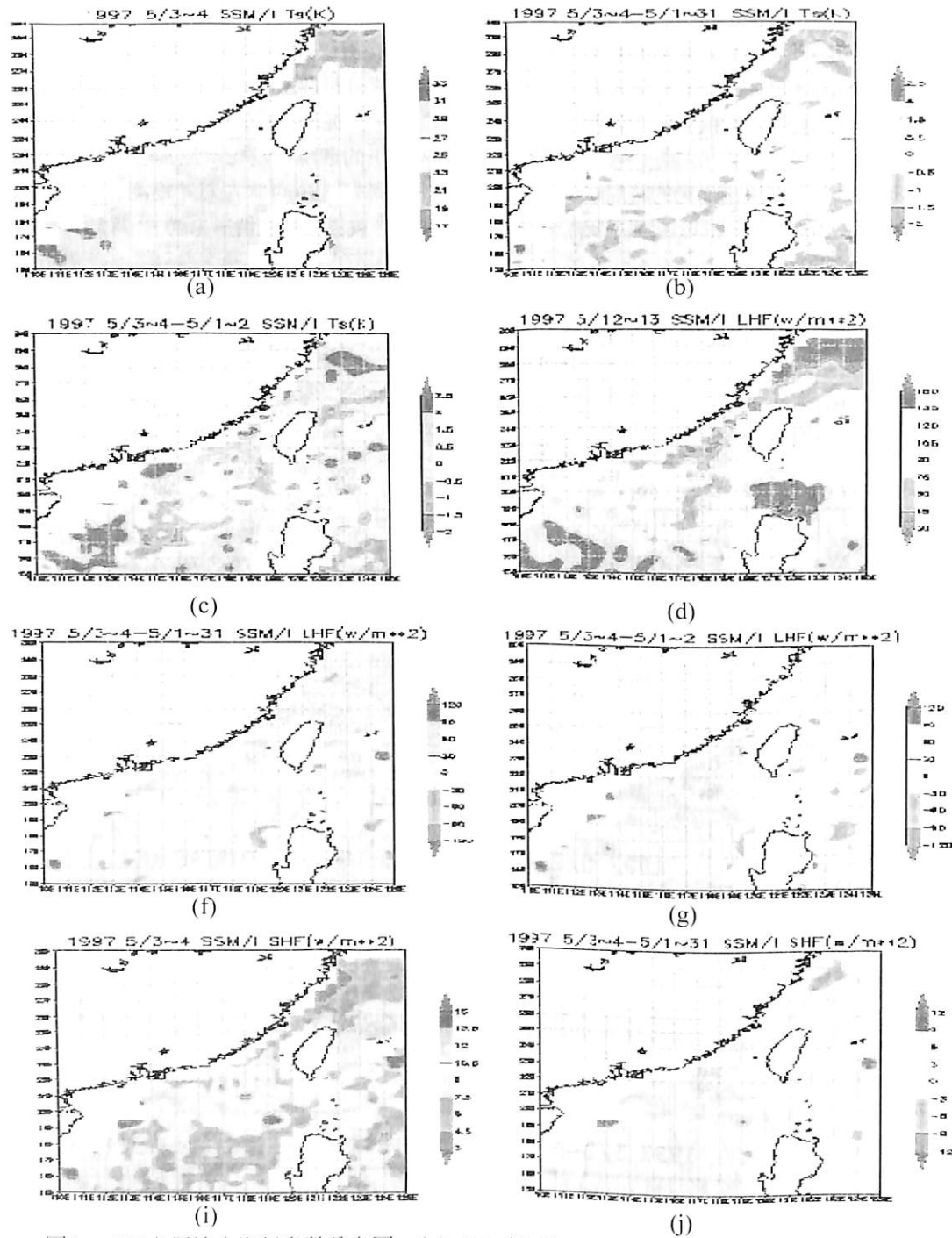


圖4 SSM/I反演之海氣參數分布圖。(a) 1997年5月3日至4日海水表面溫度，(b) 1997年5月3日至4日對五月份平均海水溫度距平圖，(c) 1997年5月3日至4日和5月1日至2日海水溫度變化圖，(d) 同(a)但為潛熱通量圖，(e) 同(b)但為潛熱通量圖，(f) 同(c)但為潛熱通量圖，(g) 同(a)但為可感熱通量圖，(h) 同(b)但為可感熱通量圖，(i) 同(c)但為可感熱通量圖，(j) 為1997年5月3日至4日近海面風速

日00UTC開始有暖平流出現，到了5月4日12UTC以後則較為明顯的暖平流。至於大氣的穩定度來說，基本上都是處在不穩定的狀況下，尤其以5月3日至

5月4日最為明顯。不過在5月3日至5月5日06UTC期間，基本上大氣並不具有顯著的垂直運動。因此綜合各種分析場的結果來看，此時大氣基本上是

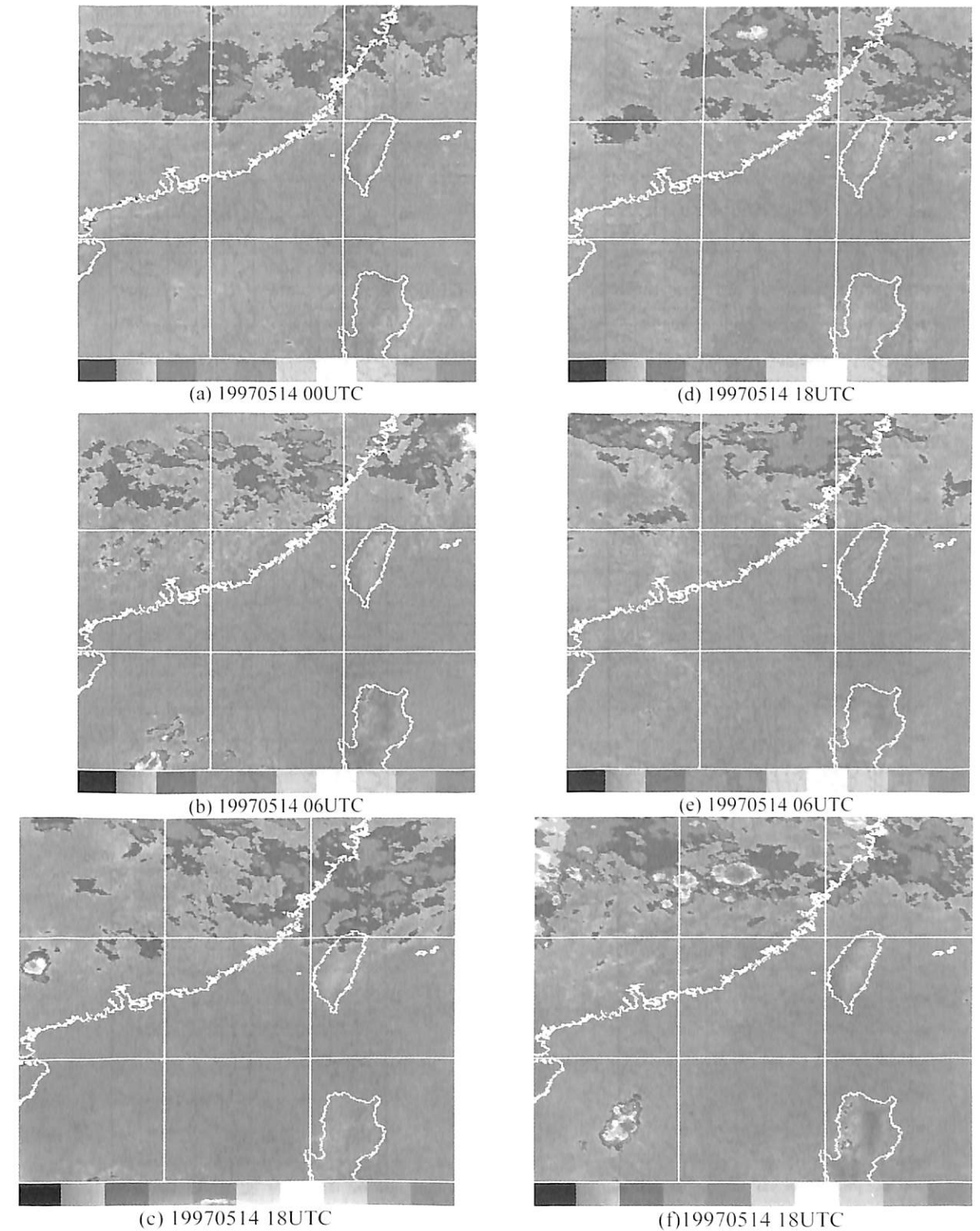


圖5 1997年5月14日至15日GMS5紅外線衛星雲圖

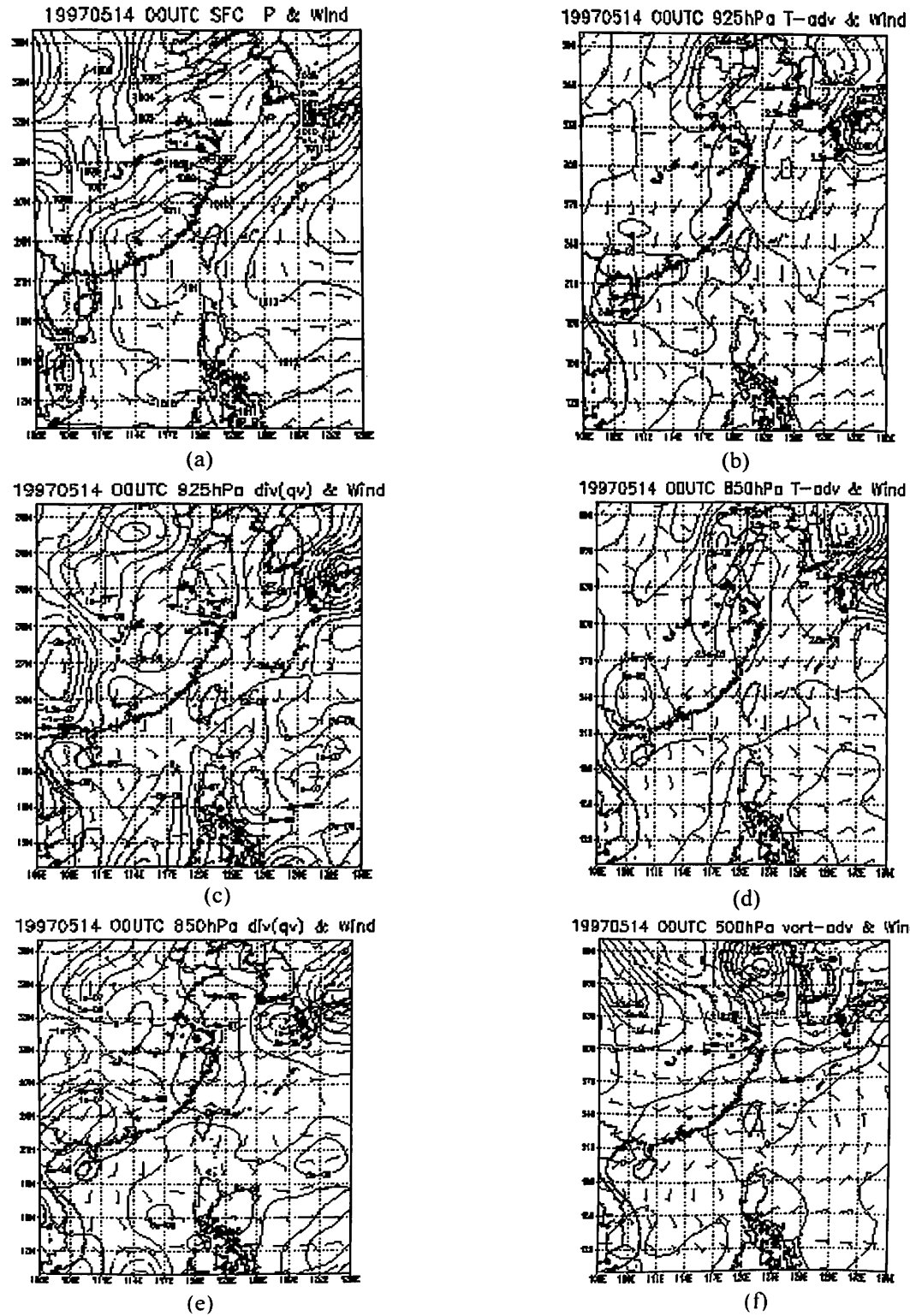


圖6 1997年5月14日00UTC EC/TOGA 各高度場的分析資料。(a)地面風場及等壓線，(b)925hPa風場及等高線，(c)925hPa風場及水汽輻散場，(d)850hPa風場及等高線，(e)850hPa風場及水汽輻散場，(f)500hPa風場及高度平流場。

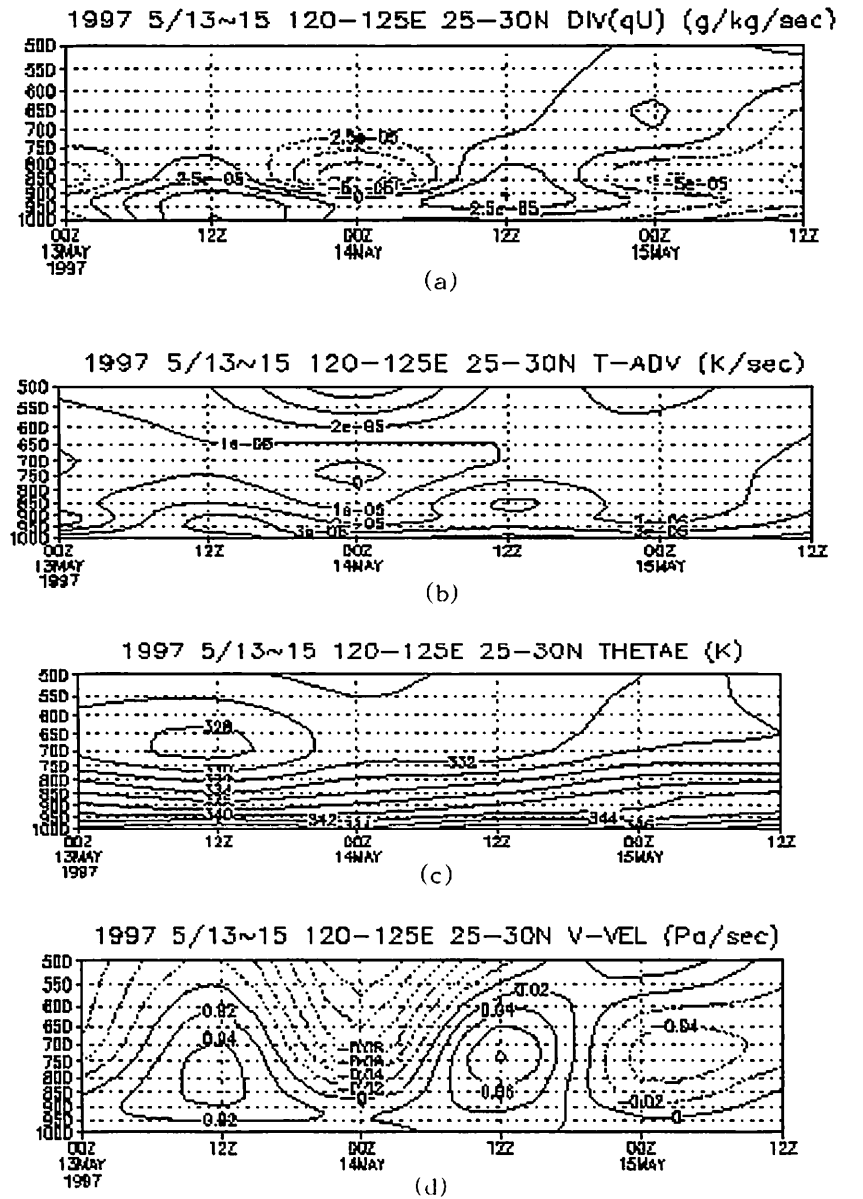


圖7 1997年5月13日至15日EC/TOGA 120-125E、25-30N範圍內，(a)水汽輻散場、(b)溫度平流、(c)潛在不穩定度及(d)垂直運動等各量場的時間-高度剖面變化圖。

處在較弱的綜觀環境系統主控之下。海面上中尺度對流系統若無其他系統應該很難在大環境的支持下得到發展。

2. 海氣參數分析

由SSM/I反演5月3日至4日的海水表面溫度結果來看，海水表面溫度基本上是呈現南高北低的氣候分布型態，特別的是在116-120E、18-22N範圍內基本上是屬於一個獨立封閉的高溫區(>29°C) (如圖4a)。就五月份平均海水溫度而言台灣海峽中南

部、南海北部與海南島東南外海以及台灣東部外海，基本上是屬於溫度正距平(如圖4b)，並且正在逐漸的增溫當中(如圖4c)。另外台灣北部外海及菲律賓呂宋島西部外海雖屬於逐漸增溫過程，但是當時海溫相對五月份平均海水溫度而言乃處於負溫度距平。海氣間溫、濕度差異的空間分布及時間序列變化情形和海水表面溫度所表現出來的情形一致(圖略)。至於海氣潛熱通量及可感熱通量的分布與變化情形，上述區域除了菲律賓呂宋島西部外海

是屬於逐漸減小的過程中，其餘大致和海水溫度及海氣間溫溼度差異等量場相同(如圖4d~i)。特別值得一提的是無論是海水溫度、海氣間溫溼度差異，甚至是潛熱通量及可感熱通量，在5月3日至4日的SSM/I反演結果中都可看出在116~120E和18~22N範圍內都具有顯著的相對高值出現，而這個位置也正好是一天以後(5月5日)海上對流系統出現的位置。另外由近海面風速的反演來看，台灣海峽及南海北部基本上是屬於微弱風速區(如圖4j)。因此就整體的綜觀天氣系統分析之結果來說，本個案基本上不是屬於大尺度環境有利海上中尺度對流系統發展型的天氣系統，而海氣交互作用對系統的發展應該扮演重要的角色。

(二) 19970514~15:

1. 綜觀天氣系統分析

由GMS-5紅外線衛星雲圖分析可知(如圖5a~f)，在5月14日00UTC時鋒面雲帶以東北東到西南西的方向橫呈在大陸華東到華南一帶。在隨後的兩天內(5月15日及16日)，雲帶都是由25~30N附近出海，不過基本上來說此鋒面雲系是以低層層雲為主，並且雲系出海後完全沒有中尺度對流系統發展的情形出現。圖(6a)是5月14日00UTC EC/TOGA的地面分析資料，由圖中可以知道，低壓中心大致位於遼寧省境內，鋒面自此中心向西南延伸至華中地區，台灣地區基本上處於鋒面前緣。由925hPa高度上溫度平流、水汽輻散場與風場分析來看(如圖6b,c)，120~125E及25~30N範圍內，亦即後來鋒面雲帶出海的位置，基本上是處於非常微弱的溫度平流及水汽輻散區。圖6d是850hPa的溫度平流場，圖6e是850hPa的水汽輻散場，由圖中可知上述地區是處於微弱的溫度平流區，但具有水汽的輻合。700hPa的溫度平流與水汽輻合則並不顯著(圖略)。500hPa也沒有顯著的溫度平流存在(如圖6f)。

在本個案各量場大氣環境垂直剖面場的時間序列變化情形的分析部分，我們就鋒面雲系移出海的位置，針對120~125E和25~30N的範圍內計算各個量場，由圖7a~d中可知從5月13日00UTC開始一直到5月15日00UTC為止，基本上該區域850hPa以下都是處在水汽輻散的分布位置、溫度場則在暖平流的控制之下。就穩定度來說，是處在不穩定的狀況下，不過大氣的垂直運動則顯示下降運動。因此綜合各

種分析場的結果來看，此時大氣基本上是處在較弱的綜觀環境系統主控之下。

2. 海氣參數分析

圖8a是SSM/I反演5月12日至13日的海水表面溫度，基本上仍然呈現南高北低的氣候分布型態，另外在120~125E及25~30N的範圍內，平均海水溫度小於25°C，另外就五月份平均海水溫度而言，基本上是屬於溫度正距平(如圖8b)，並且正在逐漸的增溫當中(如圖8c)。另外在115~120E及15~22N範圍內，有一西北到東南向的相對高海溫分布區，並且也呈現逐漸增溫的趨勢。不過海氣間溫、濕度差異(圖略)，甚至海氣間的潛熱通量或可感熱通量(如圖8d~i)則在120~125E及20~30N範圍內雖然有逐漸增加的趨勢，但是都是處在相對低溫及負距平區域。115~120E及15~22N範圍內海氣間溫溼度差異雖然都有相對高值出現，但是可感熱及潛熱通量則沒有這種現象。由於無論是海水溫度、海氣間溫溼度差異，甚至是潛熱通量及可感熱通量，在5月12日至13日的SSM/I反演結果的平均值中都可看出在120~125E和20~30N範圍內都具有明顯的相對低值出現，因此這個位置雖然是鋒面雲帶東移出海的位置，但卻不見雲系移至海上之後加強的情形出現。因此就整體的綜觀天氣系統分析之結果來說，本個案基本上屬於較弱的大尺度綜觀環境系統，而海氣交互作用亦無法對系統的發展提供正面的貢獻角色。

五、結論與展望

本研究利用劉等人(1999b)建立的一組海氣參數反演方法和流程來進行海面溫度、近海面空氣溫溼度、近海面風速、可感熱及潛熱通量的估算，並選取1997年五月份的兩個個案進行探討，同時透過EC/TOGA的資料來進行環境場的診斷分析。結果顯示，在大尺度綜觀環境系統無法具有對海上對流系統提供有利的激發條件時，海氣交互作用似乎仍然可以影響對流系統的發展與否。另外由本研究的結果也可以了解，個別的海氣參數對海上對流系統影響的程度應該有所不同，因此未來我們除了要增加更多的個案進行定性分析外，同時也將定量地分析歸納出各參數影響海上對流系統發展的資訊，期望能夠發展出一種判斷系統發展與否的參考指標。

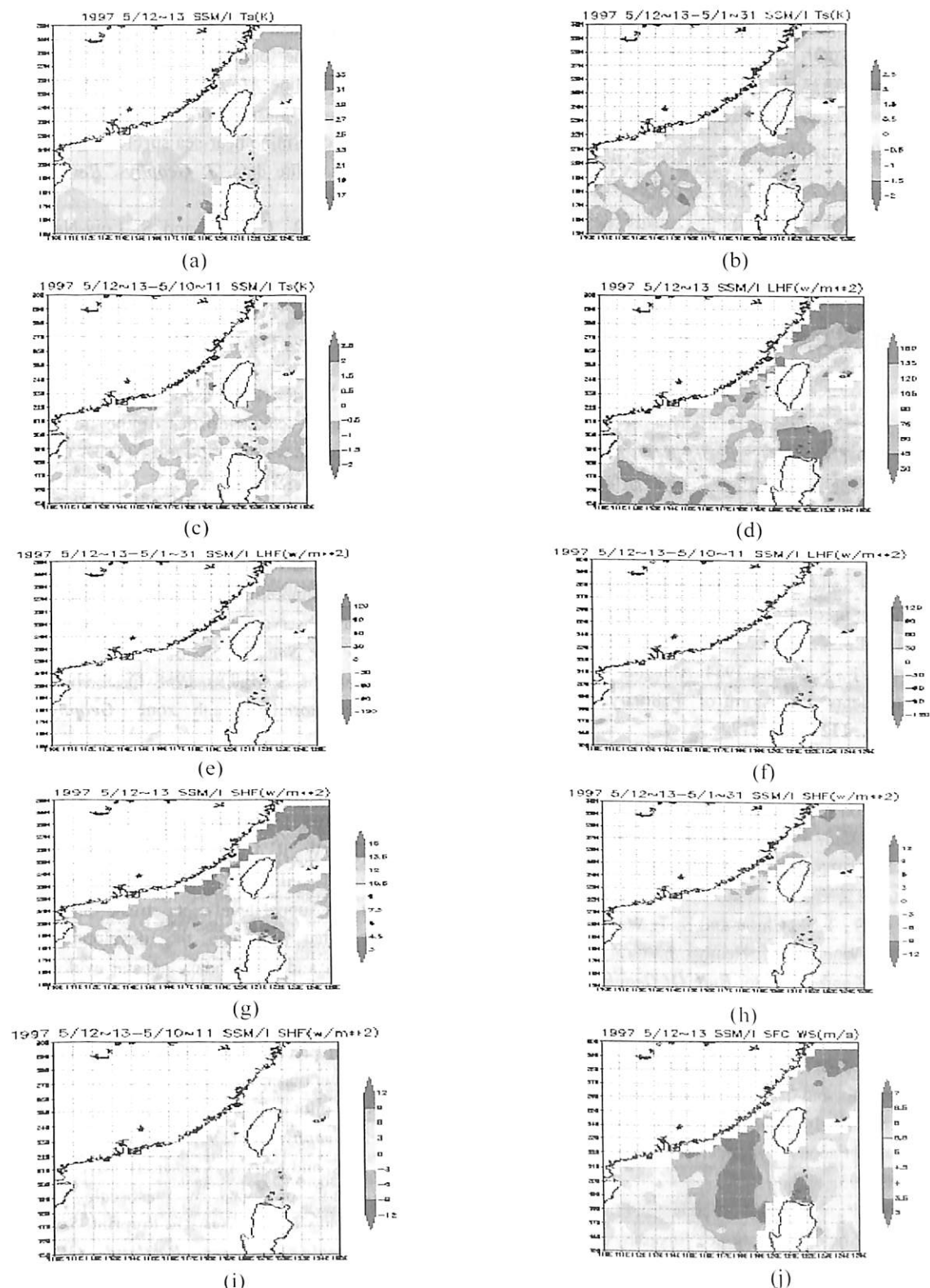


圖8 SSM/I反演之海氣參數分布圖。(a) 1997年5月12日至13日海水表面溫度，(b) 1997年5月12日至13日對五月份平均海水溫度距平圖，(c) 1997年5月12日至13日和5月10日至11日海水溫度變化圖，(d)同(a)但為潛熱通量圖，(e)同(b)但為潛熱通量圖，(f)同(c)但為潛熱通量圖，(g)同(a)但為可感熱通量圖，(h)同(b)但為可感熱通量圖，(i)同(c)但為可感熱通量圖，(j)為1997年5月12日至13日近海面風速分布

隨著衛星遙測儀器的日新月異，無論對於大尺度、中尺度甚至更小尺度系統的研究分析，應該都能將衛星資料運用於其中。本研究可說利用衛星資料建立了另一套異於傳統的分析方法與技術。所得結果不但可供其他相關領域研究者參考，亦可提供作業單位另一個豪大雨預報因子的選擇。因此，將來在傳統資料及衛星資料的整合上，如何做到分工合作、相輔相成的境界，相信是未來氣象界研究的一個重點，並且是值得期待的。

六、參考文獻

- 劉振榮、劉大維和劉崇治，1999a：應用GMS-5與SSM/I資料反演海溫及其在梅雨期豪雨個案之初步分析。*海峽兩岸災變天氣研討會*，p258-265。
- 劉崇治和劉振榮，1999b：應用衛星資料估算近海面空氣溫度之研究。*第八屆國防科技研討會論文集*，c09。
- Barnes, G., and M. Garstang, 1982: Subcloud layer energies of precipitating convection. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 102-117.
- Bosart, L. F., S. C. Lin, 1984: Adiabatic analysis of the Presidents' Day storm of February 1979. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 2148-2177.
- Chen, C. S., T. K. Chiou and S. T. Wang, 1986: An investigation of mesoscale convective system associated with Mei-Yu front in SE China from May 26 to 28 1985. *Paper Meteor. Res.*, vol. 9, no. 2, 137-161.
- Chen, C. S., T. K. Chiou and S. T. Wang, S. M. Lin and C. K. Wang, 1987: Heavy rainfall in Taiwan area on May 28 and 29, 1986. *Bull. Of Geoph.*, no. 27-28, 177-188.
- Draper, N. R., and H. Smith, 1966: Applied regression analysis, 2nd ed. New York: Wiley, 305 pp.
- Gaynor, J. E., and C. F. Ropelewski, 1979: Analysis of the convectively modified GATE boundary layer using in situ acoustic sounder data. *Mon. Wea. Rev.*, **107**, 985-993.
- Jobouille, P., J. L. Redelsperger, and J. P. Lafore, 1996: Modification of surface fluxes by atmospheric convection in the TOGA COARE region. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 316-337.
- Johnson, H. J., and M. E. Nicholls, 1983: A composite analysis of the boundary layer accompanying a tropical squall line. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 308-319.
- Konda, M., N. Imasato, and A. Shibata, 1996: A new method to determine near-sea surface air temperature by using satellite data. *J. Geophys. Res.*, **101**, C6, 14349-14360.
- Kuo, Y. H., R. J. Reed, and S. Low-Nam, 1991: Effects of surface energy fluxes during the early development and rapidly intensification stages of seven explosive cyclones in the Western Atlantic. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 457-476.
- Lin, Xin, and R. H. Johnson, 1996: Kinematic and thermodynamic characteristics of the flow over the Western Pacific warm pool during TOGA COARE. *J. Atmos. Sci.*, **53**, 695-715.
- Parson, D., D. Dabbert, H. Cole, T. Hock, C. Martin, A. L. Barrett, E. Miller, M. Spowart, M. Howard, W. Ecklund, D. Carter, K. Gage, and J. Wilson, 1994: The integrated sounding system: Description and preliminary observations from TOGA COARE. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **75**, 553-567.
- Riehl, H., and J. S. Malkus, 1958: On the heat balance in the equatorial through zone. *Geophysica*, **6**, 503-538.
- Sanders, F., and J. R. Gyakum, 1980: Synoptic-dynamic climatology of the "bomb." *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 1589-1606.
- Uccellini, L. W., R. A. Petersen, K. F. Brill, P. J. Kocin and J. J. Tuccillo, 1987: Synergistic interactions between an upper-level jet streak and diabatic processes that influence the development of a low-level jet and a secondary coastal cyclone. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 2227-2261.
- Young, G. S., L. D. Ledvina, and C. W. Fairall, 1992: Influence of precipitating convection on the surface energy budget observed during a tropical ocean global atmosphere pilot cruise in the tropical western Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.*, **97**, 9595-9603.
- Zipper, E. J., and K. A. L. Caesar, 1994: The structure of cold pools produced by mesoscale convective systems during TOGA COARE. Preprint, *Sixth Conf. On Mesoscale Processes, Portland, OR. Amer. Meteor. Soc.*, 29-32.