

滯留鋒面對流不穩定天氣個案之飛航觀測

林博雄¹ 蘇世顯² 鄭文通³

¹台灣大學大氣科學系

²Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Wisconsin, USA

³民用航空局

1. 前言

臺灣南部地區每年春末初夏由於西南季風的增強和侵臺颱風常常產生豪大雨天氣現象，給當地居民帶來重大災害與不便；同時，這些劇烈天氣系統也會對於航空器飛行安全帶來威脅。如何善用與整合大氣觀測資源，進而有效改進西南氣流和侵臺颱風所帶來的豪大雨和亂流預測，必須仰賴學界與作業單位同步推動的天氣實驗計畫來蒐集詳細資料，做為數值模式改進的參考方向。西南氣流天氣實驗計畫(SoWFEX, South Western Flow Experiment)於2006年5月15日展開，為期2個月。觀測目標是蒐集鋒面進入或接近南海區域，或是劇烈中尺度對流系統(MCC)在臺灣西南方移行時，西南氣流內部的熱力與動力特徵資料，並適時校驗2006年4月升空的福爾摩沙3號氣象衛星大氣探空剖面。SoWFEX觀測實驗地點則涵蓋了南中國海、東沙島、臺灣本島與西北太平洋。這二個月期間我們分別在2006年5月27日、5月30日、6月9日以及7月9日進行密集觀測(Intensive Operation Period, 簡稱IOP)，聯合觀測設備包括無線電探空(radiosonde)、飛機拋投的投落送(dropsonde)以及地面氣象觀測。

四次IOP觀測個案中，以6月9日個案的地面降水現象最為劇烈，鋒面對流系統由日本群島綿延到大陸華南，由東海向南通過臺灣。鋒面前緣的MCC群發展於當日0000UTC，並持續到1400UTC鋒面通過臺灣為止。我們透過0930UTC-1330UTC期間的飛機拋投dropsonde觀測與1200UTC的氣球radiosonde探空觀測，所構成的中尺度大氣網格(圖1)，針對香港—高雄剖面(M750 航道)，菲律賓西北海面--巴士海峽--馬公剖面(B577 航道)以及巴士海峽—蘭嶼—成功—三貂角剖面(B591 航道)，分析探討西南氣流水汽通量特徵以及顯著垂直風切發生的飛航空層。

2. 資料來源

dropsonde探空資料空間分布解析度約200公里，由漢翔航空工業公司ASTRA飛機由42000英尺高空拋投dropsonde：dropsonde高空以降落傘下降到海面(約15分鐘)，垂直解析度約10~20公尺，以0.5秒頻率持續蒐集沿途大氣的氣溫、溼度、氣壓和風場，並即時以UHF頻道回傳到飛機的AVAPS接收系統，風場資料倚靠dropsonde的全球衛星定位系統(GPS)差分計算所得，解析度為 0.1 ms^{-1} 。dropsonde落海後由飛行組員即時處理編寫WMO TEMPDROP電碼，再透過衛星電話將資料下傳到氣象局電腦伺服器

公布與儲放。2006年6月9日個案飛航拋投路徑如圖1藍色實線所示，飛行時間約為4.5小時，總共拋投15份dropsonde(圖1的紅點)。經由民用航空局2006年6月8日18UTC初始場所執行的MM5數值模式亂流強度預報產品顯示，6月9日12UTC飛行航路上將有顯著的劇烈天氣現象發生。

radiosonde部份，本文選取馬公、屏東以及東沙島三處探空站2006年6月9日1200UTC資料，其內容雷同於dropsonde，惟其由800g氣球酬載升空到達60000英尺高度以上，全程時間約90分鐘。探空站地面接收機透過UHF頻道收取1秒鐘頻率的氣溫、溼度、氣壓和風場資料，直到氣球爆破。radiosonde風場同樣由全球衛星定位系統差分計算或是追蹤天線的仰角和方位角計算所得。

3. 資料診斷分析

本文利用上述的dropsonde和radiosonde所構成的中尺度大氣環境觀測網，分析三道民用航飛行航道附近的水汽通量與垂直風切等兩項變數隨高度的變化；這二種變數分別關係到對流系統發展，所需要的水汽能量的水平輸送與垂直輸送(Foote and Fankhauser, 1973)。

(A)香港—高雄剖面(M750 航道)/

這一前往臺灣航道的左側有顯著對流系統，ASTRA位於右側暖濕空氣供應區上空。水汽剖面的通量顯示，平行於航道的水汽輸送到達臺灣高雄的陸地上時達到輻合極大值(海面數值的3-5倍)，厚度伸展到500hPa高度。由於在海面上尚未有對流胞出現，因此水汽通量變化不太顯著，直到水氣受到中央山脈地形之阻擋輻合而產生顯著降水。海面各個dropsonde拋投點的垂直風切都顯示700hPa(3000公尺)以下和500hPa(5000公尺)以上高度有顯著垂直風切存在，到了高屏陸地900hPa(1000公尺)甚至放大3倍之多(圖2)。菲律賓西北海面--巴士海峽--馬公剖面(B577 航道)/

由綜觀天氣環境顯示2006年6月9日南海與巴士海峽受到西南風環流場之影響，因此B577航道的水汽通量向北分量相對於M750航道西南分量來得小，不過在呂宋島西北側的900hPa(1000公尺)低層有稍大的水汽通量。較為突出的是高雄外海到馬公之間，850hPa~500hPa(1500-5000公尺)高度有顯著的輻合量，而其下層卻是水汽輻散。這現象反應該空域的對流系統已由成熟垂直發展階段開始上下層傾斜，同時馬公上空的垂直風切也相較其南方的

觀測點大(圖3)。

(B)巴士海峽—蘭嶼—成功—三貂角剖面(B591 航道)/

由衛星雲圖可以隱約發現這一道鋒面系統在臺灣東部和西部海面通過的速度和對流強度稍有不同。西部臺灣海峽的西南氣流水汽受到中央山脈地形抬升效應，對流強度和持續時間都比東部海面大。低層西南氣流繞過臺灣南端地形的低壓渦旋經常發生在花蓮台東外海，可清楚得知成功外海以北低層都是水汽輻散，但是 800hPa (2000 公尺)以上還有水汽輻合現象。這一航道的垂直風切仍然顯著，尤其是在 500hPa (5000 公尺) 高度以上(圖4)。

我們引用美國Wisconsin大學大氣與海洋系的雲物理 / 動力模式 (Wisconsin Dynamic/Microphysical Model, 簡稱WISCDYMM; Wang, 2003; Wang, 2004) 來定量估算本個案滯留鋒面，來演算水平解析度1000公尺，垂直解析度200公尺的臺灣東部和西部海域環境所能提供對流發展的潛勢(最大垂直運動強度和高度)。這一模式考慮了38種雲-水-冰晶的物理和動力變化過程，12種預報輸出參數分別是三度空間的風場(u,v,w)、氣壓(p)、位溫(θ)、渦流動能(E)、水汽混合比(qv)、雲滴混合比(qc)、雲中冰晶混合比(qi)、雨滴混合比(qr)、雪片混合比(qs)以及冰雹混合比(qh)。圖5顯示，將航路上第3份與第14份dropsonde大氣探空剖面觀測，分別代入WISCDYMM，都能模擬出強烈對流雲胞的發展；兩者都在模擬20分鐘左右產生最大上升速度(~30m/s)，高度分別可達16公里和13公里。兩者均在35分鐘產生第二次極值，但是東部海域的對流發展條件稍優於西部海域，同時兩者都可以維持60分鐘之久。

4. 結論與展望

本文簡要介紹2006年5-7月中央氣象局、國家科

學委員會、國家太空中心共同贊助本系的「西南氣流實驗觀測計畫」(SoWFEX) 在6月9日(第三次IOP)期間密集觀測活動。這一天氣個案的環境背景是一道移速緩慢的鋒面對流不穩定系統通過臺灣周遭；我們動用飛機資源和地面探空站的投落送(dropsonde)與氣球無線電探空儀(radiosonde)，形成一片中尺度空中觀測網，來探討M750航道、B577航道以及B591航道沿線，由南海向臺灣西部陸地和東部海域輸送的水汽通量特徵，以及顯著垂直風切發生的空層。初步資料分析結果顯示，對流發展強烈地區內外的水汽輻合有3倍左右的差距。垂直風切擾動在1000公尺以下和5000公尺以上都相對顯著。雖然鋒面對流系統移行速度在臺灣東岸高於西岸，水汽輻合強度也較弱，但是2000公尺以上的垂直風切比西岸顯著。透過時空高解析度的美國威斯康辛大學雲物理/動力模式(WISCDYMM)估算，這一個案在東部海域的對流發展條件優於西部海域。

參考文獻：

- Foote, G. B. and J. Fankhauser, 1973: Airflow and moisture budget beneath a northeast Colorado hailstorm. *J. Appl. Meteor.*, 12, 1330-1353.
- Wang, P. K., 2003: Moisture Plumes above Thunderstorm Anvils and Their Contributions to Cross Tropopause Transport of Water Vapor in Midlatitudes. *J. Geophys. Res.*, 108(D6), 4194, doi: 10.1029/2003JD002581, 2003.
- Wang, P. K. 2004:, A cloud model interpretation of jumping cirrus above storm top, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L18106, doi:10.1029/2004GL020787, 2004.

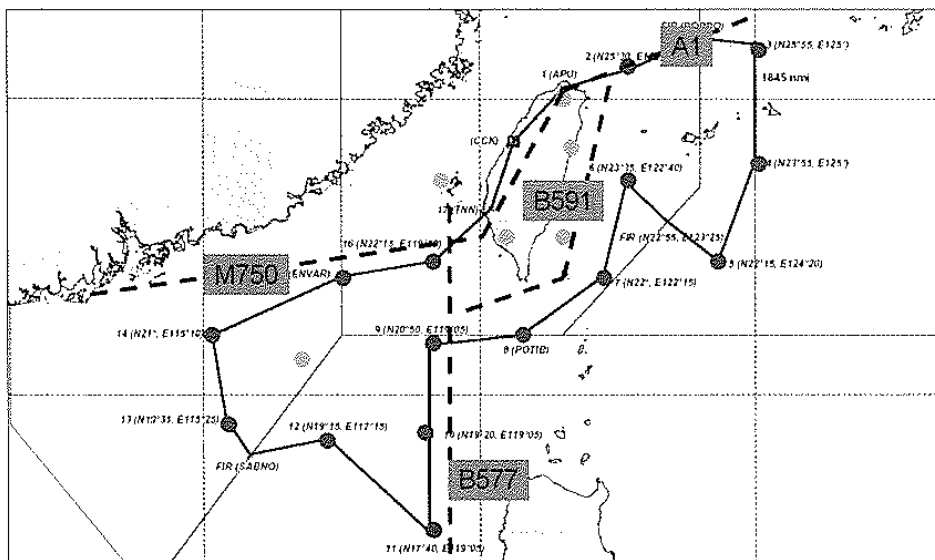


圖 1: 2006 年 6 月 9 日 10UTC-14UTC 漢翔 ASTRA 觀測飛機航路(藍線)與 dropsonde 拋投點(橘點)，黃點則是探空汽球施放站，三條民用航空器航道分別以黑色虛線標示。

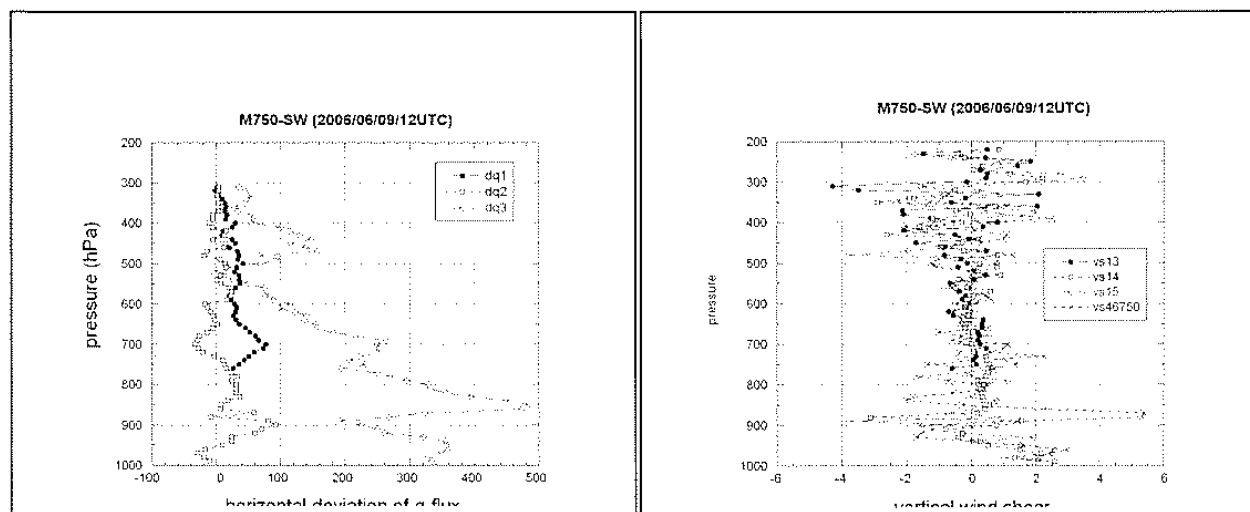


圖 2: M750 航道上由香港往高雄方向的水汽通量(左)與垂直風切(右)。

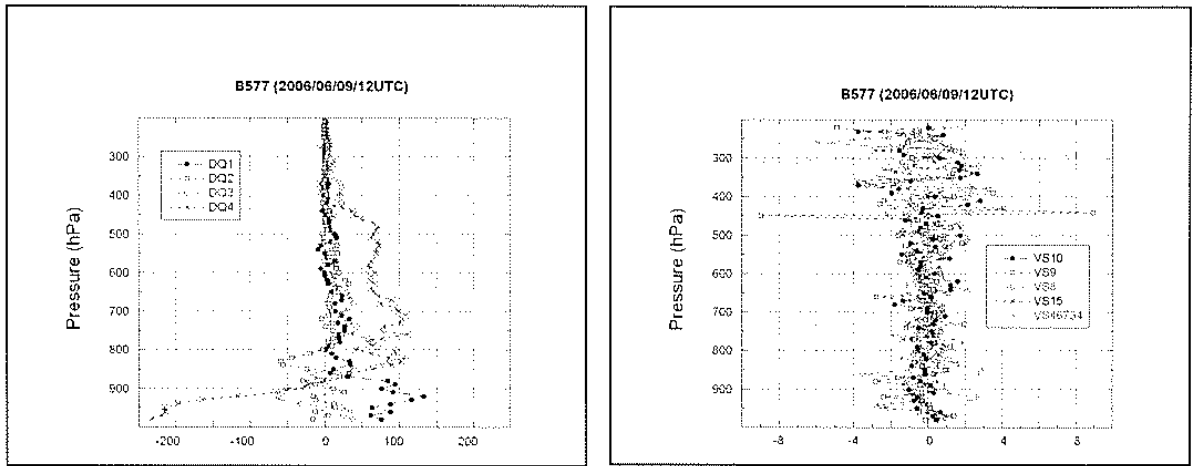


圖 3: B577 航道上由菲律賓往高雄方向的水汽通量(左)與垂直風切(右)。

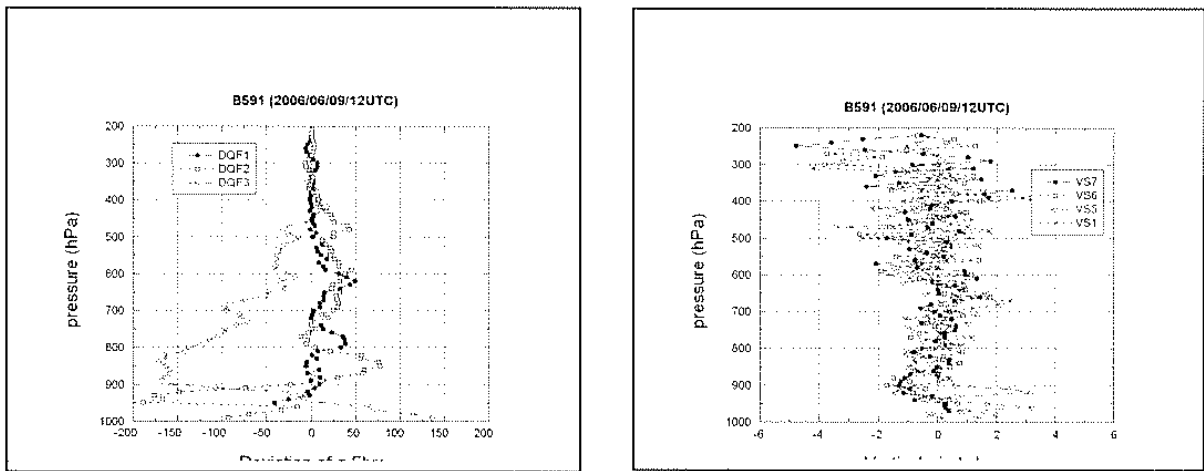


圖 4: B591 航道上由巴士海峽往東北角方向的水汽通量(左)與垂直風切(右)。

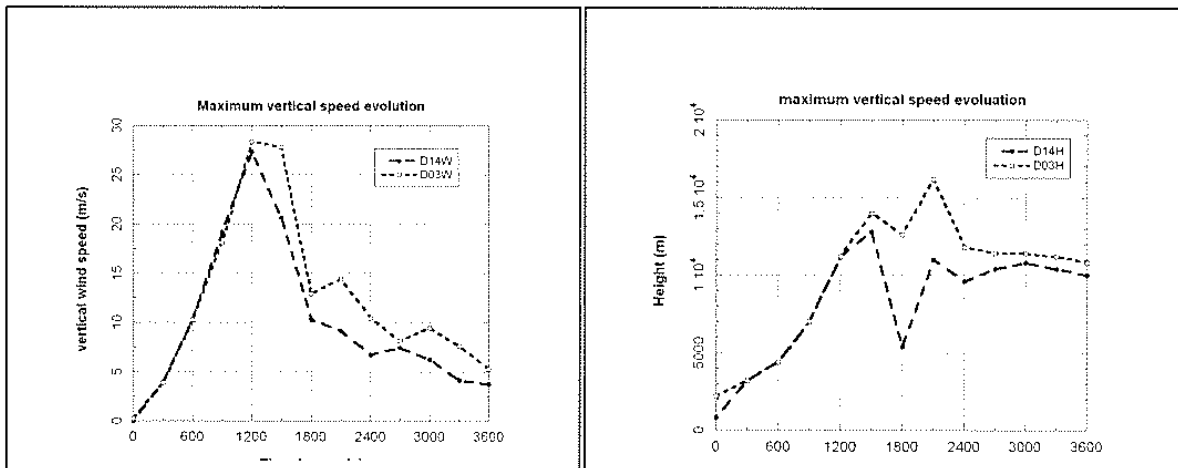


圖 5: Dropsonde #3 與 Dropsonde #14 大氣探空剖面資料在 WISCDYMM 模式所激發的對流系統(上)最大上升速度(m/s)強度和(下)發生高度(m)的時間序列。