滞留鋒面對流不穩定天氣個案之飛航觀測

林博雄 鄭文通 蘇世顥

臺北市羅斯福路四段一號

摘要

本文透過 2006 年「西南氣流實驗觀測計畫」的投落送(dropsonde)與氣球無線電探空儀(radiosonde),針對 2006 年 6 月 9 日 1200UTC 前後 3 小時所構成的空 中觀測網,探討移速緩慢的鋒面對流不穩定天氣系統在臺灣周遭的大氣剖面特 徵。資料分析針對香港—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),來探 討經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。本文亦透過美國威斯康辛大學雲物理/動力模式(WISCDYMM)的計 算,定量估算本個案的鋒面對流系統,在臺灣東岸與西岸所產生的對流系統強度 和高度,做為飛航天氣分析的參考。

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 氟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 Weastern 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 月升空的福爾摩莎 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)、飛機抛 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 (圖 1),並持續到 1400UTC 鋒面通過臺灣為止。我們透過 0930UTC-1330UTC 期間的 飛機 抛投 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 2),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 切發生的空層,做為飛航安全研探之參考。

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 41000 英呎高空抛投 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 飛航抛投路徑如圖 2 藍色實線所示,飛行時間約為 4.5 小時,總共抛投 15 份 dropsonde(圖 2 的紅點),圖 3 是飛行路徑與當日 12UTC 的雲頂溫度紅外雲圖的 重疊,圖 4 則是民用航空局 MM5 數植模式 前 18 小時的亂流強度空間分布預報 圖(2006 年 6 月 8 日 18UTC 初始場);這些圖表都一再顯示 6 月 9 日 12UTC 飛行 航路上的劇烈天氣狀況。

radiosonde 部份,本文選取馬公、屏東以及東沙島三處探空站(圖 2 的橋點) 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 英呎高度以上,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 radisonde 所構成的中尺度大氣環境觀測網, 分析三條民用航空器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)。

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 5)。

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 6)。 巴士海峽—蘭嶼—成功—三貂角剖面(B591 航道)/

由圖1和圖3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,由圖7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。

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)。我們發現將航路上第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(圖8)。

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,東部海域的對流發展條件稍優 於西部海域。我們將持續透過WISCDYMM來進一步定量估算對流系統內部的亂 流強度與積冰現象,做為危害飛航天氣之參考。

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 日日本 MTSAT 地球同步衛星紅外雲圖。



圖 2: 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 3: 圖 2 飛行觀測航路和 2006 年 6 月 9 日 12UTC 日本 MTSAT 地球同步衛星 紅外雲圖之疊合。



圖 4: 民用航空局氣象中心 MM5 模式由 2006 年 6 月 8 日 18UTC 預報 6 月 9 日 12UTC 的空層內亂流強度空間分布。





圖 5: M750 航道上由香港往高雄方向的水汽通量(上)與垂直風切(下)。



圖 6: B577 航道上由菲律賓往高雄方向的水汽通量(上)與垂直風切(下)。





圖 7: B591 航道上由巴士海峽往東北角方向的水汽通量(上)與垂直風切(下)。





圖 8: Dropsonde #3 與 Drpsonde #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。