

GIMEX 期間無人飛機探空資料初步分析

林博雄¹ 羅英哲¹ 李清勝¹ 林民生²

¹國立台灣大學大氣科學系

²中央氣象局

摘要

本文概述台灣無人飛機探空團隊於綠島中尺度實驗期間 Aerosonde 之飛行觀測過程，並針對夜間海陸風環流個案以及對流系統外圍環流個案進行，進行飛行探空資料之初步診斷分析。5 月 27 日夜間海陸風局部環流診斷方面，陸風發生在清晨 06:18~06:48 的 200m 高度以下，南北縱向線狀淺對流的西側(近岸)有顯著西風分量將雲系推出海岸，這西風分量在 700 公尺高度以上顯著減弱；線狀雲系內外 1000 公尺高度的比溼差異約 0.3g/kg。鋒面前緣對流不穩定的環境診斷方面，越靠近對流雲系低層大氣垂直風切與渦度越強，這些資料顯示 Aerosonde 應用於中小尺度海上天氣現象研究的可行性。

一、前言：

洋面上的大氣觀測一直是大氣研究與作業上較弱的環節，但其重要性則是與日俱增的。比如海氣交互作用、氣候變遷與聖嬰等之研究，常需利用海水表面溫度與風速等兩項因子。颱風生成、發展與路徑的模擬與預報，也極需要洋面上大氣的觀測資料做為模式之初始場，準確定位颱風中心以及估計暴風強度和半徑。此外，引發豪大雨的中小尺度對流雲胞內部的雲水物理特徵調查，也是發展災變天氣警報系統的基礎研究工作。搭配都卜勒雷達的氣象飛機是現階段研究以上天氣與氣候系統最有效的海上機動觀測工具，近年來由於電子儀器的迷你化趨勢與通訊科技的進步，輕巧且機動性高的無人遙控飛行載具(UAV)開始被積極開發為軍事與科學儀器載具。Aerosonde (譯名為無人飛機探空, Holland et al.,1992; Holland et al.,2001) 是一種介於飛機與氣球探空(Radiosonde)兩種常用大氣探測工具的折衷方案，它具備了飛機長程飛行以及氣球可拋棄的優點。

台灣大學在國家科學委員會之國家防災型計畫贊助下，與中央氣象局自 1997 年起開始評估 Aerosonde 之科學應用價值，隨後於 1998 年在南海季風實驗計畫(SCSMEX, Lau et al.,2000)期間於東沙島配合澳洲 AeRA 公司運作 Aerosonde (林等, 2000)。經過一年的摸索以及

原廠技術人員確認下，台灣無人飛機探空團隊(Taiwan Aerosonde Team, 以下簡稱 TAT)在 1999 年 6 月組成，以(1)任務指揮(2)科學任務(3)飛行空域(4)維修訓練(5)飛行作業(6)行政後勤等六組分工執行 Aerosonde 運作。成員中包括了中山科學院「天隼」UAV 四位技術人員。TAT 於 1999 年夏天開始陸續在屏東滿洲鄉以及宜蘭壯圍鄉獨立操作 Aerosonde 於太平洋海上飛行，2000 年 10 月開始進行一系列侵台颱風機動觀測以及參與 2001 年 5 月綠島中尺度實驗計畫(Green Island Mesoscale Experiment, GIMEX)。有關 Aerosonde 硬體特徵以及氣象元件特色之描述，參見林等(2000)的文章說明，本文不再贅述。第二節將概要說明 GIMEX 期間 Aerosonde 如何以綠島機場為基地進行台灣東南海域飛行觀測，第三節則分析討論其中二次飛行個案的氣象資料。

二、綠島中尺度實驗 Aerosonde 運作

由國家科學委員會自然處贊助的 GIMEX 於 2001 年 5 月 22 至 5 月 31 日於台灣東南部內陸以及海上進行，其科學目標計有五項(周, 2001)：

- (1) 鋒面之中尺度結構和降雨特徵以及地形之影響
- (2) 鋒面前後大氣邊界層特性，局部環流以及相伴隨之中尺度天氣現象特徵(如中尺度低壓、中尺

度氣旋、海陸風或山谷風環流之日夜變化以及盛行風之影響)

- (3) 該區之中尺度對流系統降雨與運動場結構以及地形之影響
- (4) 颱風接近時大氣邊界層結構和風雨分布特徵以及地形對颱風路徑之影響
- (5) 恆春半島地形和東南部島嶼地形對該地區之氣流以及降雨系統之影響。

如前所述，Aerosonde 擔負 GIMEX 期間海上低層大氣之氣象觀測任務。TAT 於 5 月 21 日出發，5 月 22 日經台東富岡碼頭到達綠島，綠島機場 Aerosonde 地勤準備工作在 5 月 23 日完成之。Aerosonde 組裝是在綠島航空站公務車棚一隅進行，再由公務管制門進出機場管制區；停放在停機坪的九人座商務車為 Aerosonde 地面起降導控站，短程與長程通訊天線分別架設於停機坪地面和塔台。Aerosonde 地勤組員以無線電對講機和有線電話分別與綠島機場塔台與台東豐年機場近場台保持通訊，依照核准之飛行計畫書進行起降程序。表 2 是 5 月 24 日至 29 日期間的飛行作業概要，5 月 24 日~25 日以及 5 月 26 日~27 日分別進行跨夜的長時間飛行；5 月 28 日則往南飛行；5 月 29 日原定與漢翔公司 Astra 噴射飛機同步進行花蓮—成功之間的海上飛行，由於綠島機場天候不佳以及起飛前發現 Aerosonde 機械問題而取消當日飛行計畫；5 月 30 日 TAT 整束設備返回台北回。GIMEX 期間 Aerosonde 飛行時數總計 40 小時，每日飛行計畫依據前一天以及當時天氣發展，由 GIMEX 計畫設於台北氣象局指揮中心與本文第一作者透過行動電話聯繫討論。表 1 整理了 GIMEX 期間 Aerosonde 飛行個案概要。

三、局部環流飛行資料分析

爲了探討東南部陸地海上的局部環流發展，計畫辦公室特於霧鹿—池上一東河—成功(內陸向海岸)方向進行汽球探空與經緯儀測風觀測，Aerosonde 則由成功近岸延伸陸地探空觀測之直線排列，繼續向外海延伸到離岸 25.8 公里處，進行二度空間(X-Z)剖面飛行，圖 1 表示出這條海陸風環流剖面的空間分布。5 月 26 日綜觀環境是鋒面滯留於花蓮以北，成功台東等地位處鋒前暖濕南風環境。當日 18:40 到 23:00，Aerosonde 連續在近岸上升點由 166 公尺盤旋爬升到 1500 公尺高度，再以 1500 公尺高度向外海下降點水平飛行，到達下降點後盤

旋降低高度到 166 公尺，最後再度以保持 166 公尺高度向岸飛行回到上升點，完成第一圈的 X-Z 剖面觀測，第二圈 X-Z 剖面觀測飛行上下高度則各改爲 700 公尺與 300 公尺；換言之，Aerosonde 提供了 166-300-700-1500 公尺等四層高度的邊界層剖面觀測(以下簡稱為 PBL-L4)。5 月 27 日 00:40 到 05:25 以及 6:20 到 09:30 繼續重覆 PBL-L4 飛行，圖 2 是當次 Aerosonde 18 小時的飛行剖面時間序列。

PBL-L4 的風場資料顯示，低層環境整夜都是西南風(700 公尺以下)與南風(700 公尺以上)，惟有在 5 月 27 日清晨 06:18~06:48 時刻，166 公尺的南風幾近停歇，而突顯出西風(陸風)分量。

27 日清晨爲了探測海岸山脈線狀雲系結構，Aerosonde 乃於 05:25~06:15 時段以 1000 公尺高度由成功先沿著海岸線南下飛行 25 公里，再右轉 90 度折往外海 15 公里，然後再度左轉 90 度平行海岸線北上飛行(以下簡稱為 XY-BOX)。飛行沿途中的風場顯示出南北縱向線狀淺對流的西側(近岸)有顯著西風分量，可將這一線狀雲系推出海岸，由 27 日 07:00 以後的可見光雲圖，可以看見這道雲線由近岸推出外海越過綠島。比濕資料則顯示這一線狀雲系內外 1000 公尺高度的比溼差異約有 0.3g/kg。

5 月 28 日鋒面向南推進，在台灣東部與南部有顯著低壓槽線以及組織性對流系統發生；當日中午 Aerosonde 進入實驗前所申請的南空域進行二層 x-y 平面(500 與 1000 公尺)的蝴蝶路徑飛行，以探討這一低壓槽內的小尺度環流特徵。14:25 之前後 2 小時 Aerosonde 各進行一次 500 公尺與 1000 公尺高度飛行，由風場客觀分析內插到 1 公里網格所計算的渦度場發現，1000 公尺正渦度場以及最大垂直風切都在蘭嶼方向(圖 3)，與衛星雲圖所顯示的對流雲系地理位置接近。500 公尺的海面上有微弱的輻合場，但是其上層 1000 公尺的渦度場偶合不佳，因此沒有對流雲系移入觀測空域內。

四、討論

聯合國世界氣象組織(WMO)已經留意 Aerosonde 性能與發展，並建議各國引用做爲颱風環流觀測。來自中央氣象局以及國家科學委員會颱風研究群的長年支持，TAT 已經充份掌握 Aerosonde 獨立操控與維修，對於國內氣象界在飛機觀測應用跨出第一步。TAT 除了持續進

行颱風觀測任務之外，參與 GIMEX 也是反饋國內學界其他學術研究的一次成功案例。上節飛行觀測資料如果有雷達同步觀測進行資料相互驗證，則能開啓我們對於海上中尺度天氣探測的新境界。

然而 Aerosonde 的飛航安全是科學層面外但也必須面對的嚴肅問題，包括 Aerosonde 在空中與其他飛行器碰撞以及失控墜落地面或海面的可能危險。一次 Aerosonde 飛行觀測空域必須取得民用航空局飛航管制之許可，第三人責任險的投保、起降前後的周全地勤準備以及機械檢查等細節，都是 Aerosonde 達成科學目標前的必要步驟。經過兩年溝通與協調運作，目前 TAT

參考文獻：

林博雄，李清勝，鄭文通，林民生，2000：南海季風實驗期間無人飛機探空之資料診斷。《大氣科學》，**28**, 243-262。

周仲島，2001：台灣天氣研究計畫與綠島中尺度實驗簡介。《科學發展月刊》，**29**, 568-578。

Holland, G. J., T. McGeer and H. Youngren, 1992: Autonomous Aerosondes for economical atmospheric soundings anywhere on the globe. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **73**, 1987-1998.

Holland, P. J. Webster, J. A. Curry, G. Tyrell, D. Gauntlett, G. Brett, J. Becker, R. Hoag and W.

在颱風機動觀測作業的行政程序上，已經簽訂宜蘭與屏東兩處基地的地面起降協議書，和基地外海空域有條件使用的空域申請快速流程。至於 TAT 渡海使用綠島機場參與 GIMEX 的前置作業更長達半年，包括場地勘查、舉辦說明會、專人派駐航管作業室，才獲得珍貴的海上大氣邊界層個案資料。這些資料將再進一步分析，包括其他與 Aerosonde 同步觀測平台(如汽球探空、成功測候站的整合探空系統剖風儀)的資料相互驗證與組合，以提出大氣現場(in situ)觀測的特有論點。

Vagliant, 2001: The Aerosonde robotic aircraft: a new paradigm for environmental observations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **82**, 889-902.

Lau, K. M. Y. Ding, J. T. Wang, R. Johnson, T. Keenan, R. Cifelli, J. Gerlach, O. Thiele, T. Rickenbach, S. C. Tsay and P. H. Lin, 2000: A report of the field operations and early results of the South China Sea Monsoon Experiment (SCSMEX). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **81**, 1261-1270.

表 1：Aerosonde 於 GIMEX 期間之飛行航次

Flight	起飛時間	降落時間	時間間距	任務	地點
1	15:43 (5/24)	05:45 (5/25)	14 小時	海陸風環流 (夜航)	成功外海
2	13:45 (5/25)	17:00 (5/25)	3.25 小時	垂直探空	綠島
3	16:45 (5/26)	10:45 (5/27)	18 小時	海陸風環流 (夜航)	成功外海
4	11:30 (5/28)	17:30 (5/28)	5 小時	海上低層對流環境	大武外海

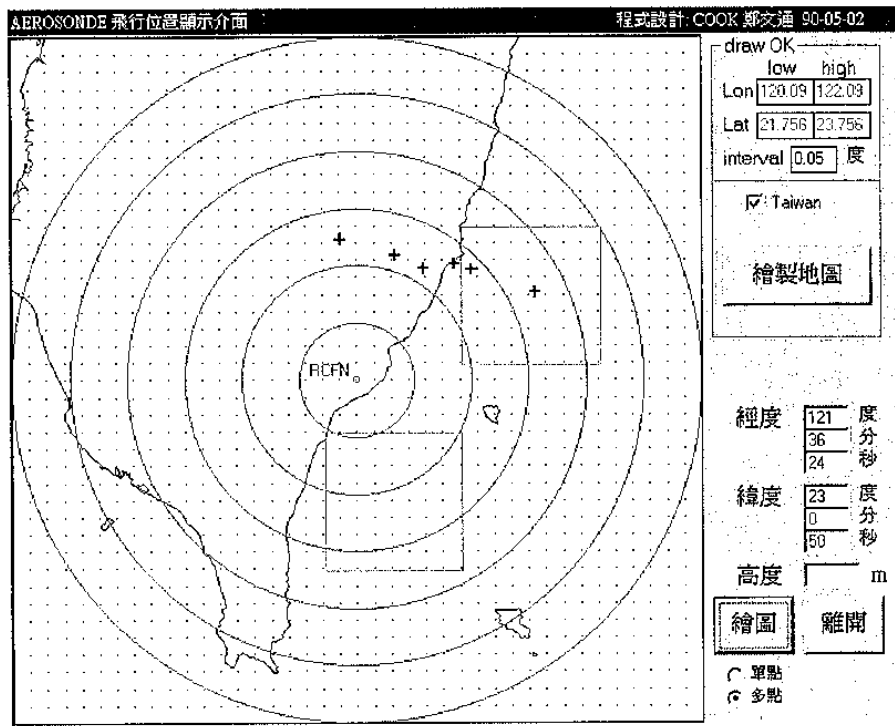


圖 1: GIMEX 局部環流觀測的測站分布(+)與 Aerosonde 南北兩方型空域，地圖是以台東航空站(RCFN)進場台 10 海浬間距同心圓雷達畫面，+點由左而右分別是霧鹿、池上、東河、成功、Aerosonde 上升點以及 Aerosonde 下降點，成功到各測點的距離由左由右分別為 34.6 27.4 9.3 5.2 25.8 公里。

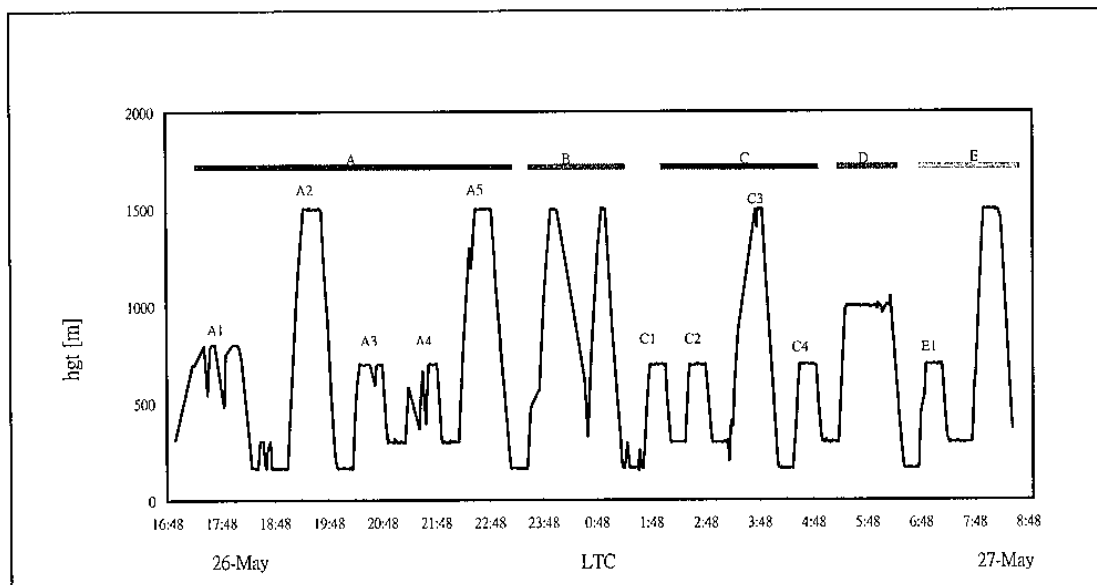
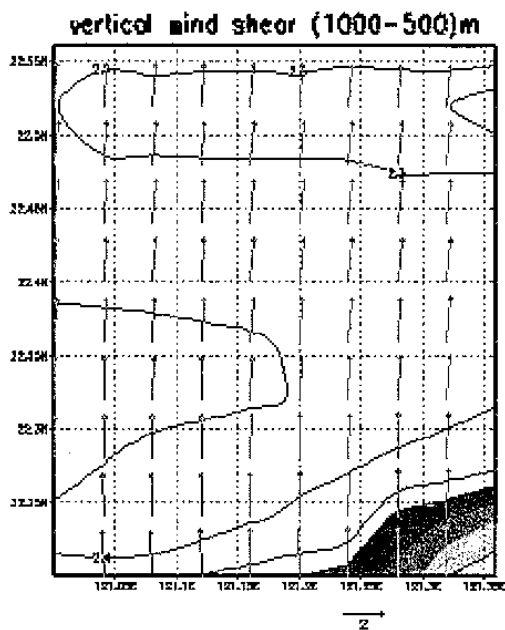
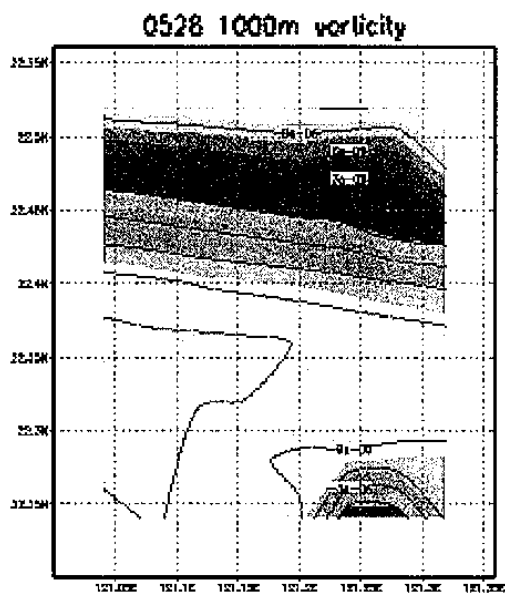


圖 2: 2001 年 5 月 26~27 日 Aerosonde 飛行高度時間序列。其中 A,C,E 是 PBL-4L(見內文) 飛行，B 是成功近岸垂直探空，D 是 XY-BOX(見內文)飛行。



QWES 02A/02B

2001-05-23-1129



QWES 02A/02B

2001-05-23-1129

圖 3：5 月 28 日南空域的 500~1000 公尺垂直風切(上圖)與 1000 公尺渦度場。

The preliminary result of Aerosonde data acquired from GIMEX

Po-hsiung Lin¹, Ying-che Lo¹, Cheng-shang Lee¹, Ming-sheng Lin²

¹Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

²Central Weather Bureau