

「侵台颱風之 GPS Dropsonde 飛機偵察觀測實驗」 - 追風計畫

(國立臺灣大學大氣科學系 吳俊傑、林博雄)

摘要

有鑑於歷年颱風屢屢重創台灣地區造成重大災害，颱風研究的重要性不容小覷，國科會已提供相當之經費，於近三年內（自 2002 年 8 月 1 日至 2005 年 7 月 31 日）補助筆者所主持的「颱風重點研究」。此研究可望增進對於颱風動力理論之瞭解，改進颱風路徑預報準確度，提昇我國在颱風研究領域之國際地位，並扮演西北太平洋及東亞地區颱風研究的領導角色。

值得一提的是，此研究進行西北太平洋地區近十六年來首次的颱風偵察飛機觀測實驗（追風計畫）。研究人員直接飛行到接近台灣的颱風周圍 41000 英尺上空，投擲 GPS 投落送 (GPS Dropsonde)，藉此取得颱風周圍最敏感地區的大氣環境詳盡資料。此資料即時能傳輸至中央氣象局資料處理中心，與電腦預報模式相結合，除可增進對颱風結構的瞭解外，亦能有效改進颱風路徑、強度及風雨分布的預報。

此重點研究與美國國家大氣及海洋總署所屬颶風研究中心 (HRD) 及環境預報中心 (NCEP) 進行密切合作，國內已於 2002 年 8~9 月，由主持人帶領四位研究人員 (林博雄、劉清煌、洪景山、林沛練) 赴美國颶風研究中心，進行為期兩個月的大西洋颶風偵察飛機觀測訓練任務。在經過一連串的準備工作後，於 2003 年 5 月 23 日、6 月 13 日及 6 月 24 日完成三次測試飛行，並且進而在 2003 年 9 月 1 日完成歷史性的杜鵑颱風 (Dujan) 首航任務，接著更在同年 11 月 2 日針對米勒颱風 (Melor) 進行飛越颱風中心的觀測任務。透過這兩次的觀測獲取許多重要資料及寶貴的觀

測經驗，相信未來的颱風觀測將會更加成熟圓滿。本計畫將持續針對 2003~2005 年颱風季節期間，在西北太平洋地區威脅台灣的颱風，進行一系列颱風偵察觀測計畫。預期此研究計畫成果將為颱風研究及颱風監測與預報帶來重大突破。

一、「侵台颱風之 GPS Dropsonde 飛機偵察觀測實驗」

美國東南沿岸人口密集，每到夏日，更是度假勝地，人口稠密。有鑑於颶風侵襲所帶來之潛在威脅，為增進對於颶風的瞭解，並有效改進預報準確度，美國自 1982 年起，便例行性使用 WP-3D 及 C-130 飛機投擲 Omega 投落送 (Omega Dropwindsonde) 的實驗。利用飛機在距離颶風中心一千公里範圍，由中對流層 (約在 400 hPa) 投擲投落送進行探空觀測作業，探測 400 百帕以下大氣層之風場、溫度場、及濕度場剖面。結果顯示在增加投落送資料後，模式之路徑及強度預報有所改善 (Tuleya and Lord, 1997)，而 Franklin *et al.* (1996) 也指出使用該資料可以協助驗證颶風運動與周圍環境渦度梯度關係的颶風運動理論。依據 Burpee *et al.* (1996) 研究報告顯示，至 1996 年止，此一觀測資料的增加，對於作業數值模式預報結果，以及國家颶風中心官方路徑預報結果，都有非常顯著的貢獻 (例如：對於 12-60 小時颶風路徑預報，改進幅度達 16-30%)。為探測更高層的大氣資料，自 1997 年起美國國家颶風中心更開始利用高對流層噴射機—灣流四號 (Gulfstream-IV SP jet) 進行高對流層機載投落送觀測。此觀測與先前

WP-3D 及 C-130 飛機觀測的差別，除了因飛機性能差異所造成投落送投擲的高度不同外，主要在於其使用具有全球衛星定位系統 (Global Positioning System, GPS) 之投落送，因此可以大幅提升水平風場觀測之準確度 (Hock and Franklin, 1999)。依據第一年 (1997 年) 的實驗結果，GPS 投落送 (見圖 1) 資料對於 GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 颱風模式針對大西洋颱風 48 小時路徑及強度預報，可分別改進達 32% 及 20% (Aberson and Franklin, 1999)。雖然此一數據僅說明五個個案所獲得的結果，但已相當具指標性意義。以上結果，皆顯示出投落送資料對於增進颱風環境與結構的瞭解，及改進颱風數值預報之潛在價值。

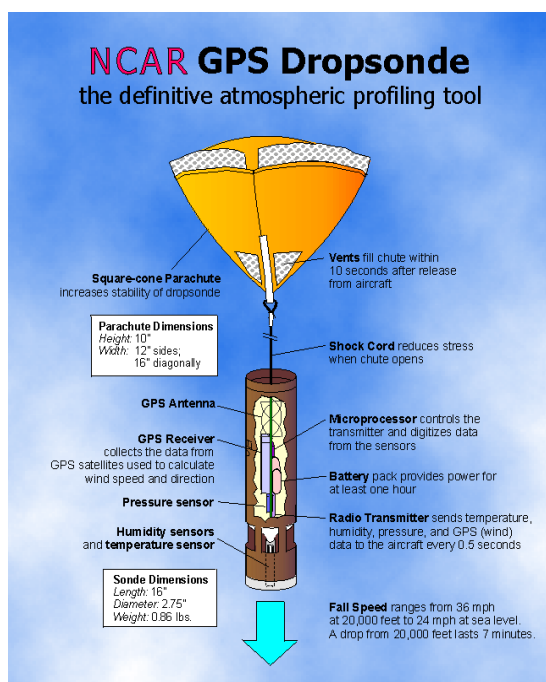


圖 1. 美國國家大氣研究中心研製成功最新型機載投落探空儀 (dropsonde)。此一設備可由飛機載至氣象資料嚴重缺乏之海洋上空投下，可以量度大氣之氣壓、溫度、濕度、以及水平風速風向之垂直分佈，對於改進颱風路徑和強度之數值模擬預報準確度可扮演重要角色。

基於上述 GPS 投落送資料的潛在價值，

為有效增加西北太平洋颱風周遭環境大氣資料之觀測，我們認為極需針對有可能侵襲台灣的颱風進行 GPS 飛機觀測實驗之先期研究 (pilot study)，以期取得判別颱風強度指標及影響颱風移動之關鍵氣象資料；並透過模式探討對影響颱風路徑之氣象因子的時空分佈，以形成有效率的機動觀測策略，配合學術界與氣象局資料同化能力之提昇，提高預報侵台颱風準確度。此研究將整合國內學術界及氣象局相當人力，並與美國 NCEP、HRD、FNMOC 及日本 MRI 進行研究合作，是一個具前瞻性並完全由國內研究人員所主導的國際研究計畫。此研究乃是台灣及東亞各國進行西北太平洋地區颱風飛機觀測之先驅，成果亦將做為未來擬定飛機觀測策略之重大指標。且此研究有助推動策略性觀測 (adaptive observation) 研究及提昇資料同化研究，因此可謂扮演颱風基礎及預報研究火車頭的角色。

此研究進行西北太平洋地區近十六年來的首次颱風偵察飛機觀測實驗。研究人員可直接飛行到接近台灣的颱風周圍上空，投擲 GPS 投落送，藉此取得颱風周圍最敏感地區的大氣環境詳盡資料。此資料將即時傳輸至中央氣象局資料處理中心，與電腦預報模式相結合，除可增進對颱風結構的瞭解外，亦能有效改進颱風路徑、強度及風雨分布預報。

目前整個颱風偵察飛機觀測實驗已正式展開作業 (組織架構見表 1)；2002 年 10 月組織完成「投落探空儀科學技術團隊」，成員由相關學術與作業單位組成 (GPS Dropsonde 研究團隊名單見表 2)，負責投落探空儀計畫相關事務之執行。相關事務包括：飛行任務之規劃與執行、投落探空資料之接收整理與分析、投落探空資料對颱風基礎動力研究之影響評估、投落探空資料對颱風預報作業之影響評估、投落探空資料對其他相關災變天氣基礎動力研究與預報作業之影響評估等。

表 1. 侵台颱風之 GPS Dropsonde 飛機偵察觀測實驗架構。

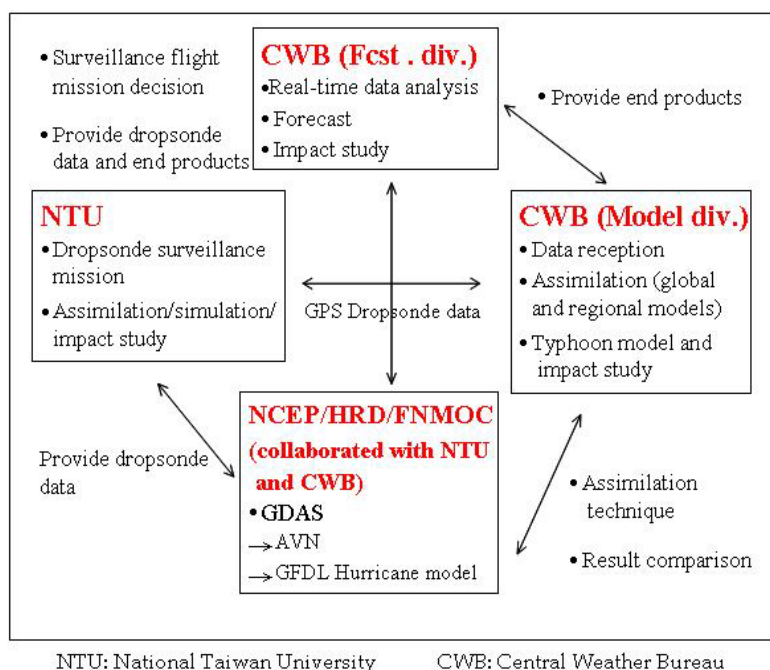


表 2. Dropsonde 任務執行 / 研究團隊。

主持人	吳俊傑
共同主持人	林博雄、葉天降
諮詢顧問	謝信良、劉紹臣
國際合作科學家	Dr. Frank Marks (HRD 主任)
參與人員	<p>台大：吳俊傑、林博雄、徐仲毅、周昆炫、徐光前、林依依、林李耀</p> <p>中央氣象局：葉天降、吳德榮、程家平、滕春慈、洪景山、馮欽賜、陳雯美、黃麗玫、林淑卿、呂國臣、黃葳芃、黃椿喜、陳得松、黃康寧</p> <p>中大：林沛練、劉振榮、黃清勇</p> <p>文大：劉清煌、張忍成</p> <p>空軍氣象聯隊：潘大綱</p> <p>漢翔、民航局</p> <p>U.S.：Sim Aberson (HRD), Naomi Surgi Hua-Lu Pan (NCEP), Morris Bender (GFDL), Mary A. Rennick (FNMOC), Kerry Emanuel (MIT), Y. Wang (IPRC), W-C Lee, Bill Kuo (NCAR), YL Lin (NCSU), C. Velden (U. Wisconsin)</p> <p>Japan：Dr. Tetsuo Nakazawa (MRI)</p>
參與單位	台大、中央氣象局、漢翔、民航局、中大、文大、HRD, NCEP, GFDL, NCAR, FNMOC, MRI, JMA, MIT, IPRC, NCSU

整個研究分兩個方向進行：一為飛機觀測事宜 (見表 3)，由筆者及國立台灣大學大氣科

學系林博雄教授負責，其中包含飛機租用、通訊設備、投落送發射及資料接收、機上資料偵

錯/分析、策略性觀測及航路設計等工作；另一則為研究本體（見表 3），由筆者與中央氣象局預報中心主任葉天降博士共同負責，包括投落送資料之接收、分析、模擬同化及對颱風預報影響評估等。整個研究包含許多科學與技術層次的細節，目前都在順利推動與進展中。

表 3. Dropsonde 任務執行要點。

● Dropsonde surveillance : (林博雄/吳俊傑)
● 飛機, AVAPS 系統、Dropsonde 投擲設備 (林博雄/劉先芸)
● 通訊系統 (飛機←→CWB←→ NTU/NCEP) (林博雄/徐仲毅/程家平/洪景山)
● 航管 (吳俊傑/林博雄/徐仲毅) + Dr. Nakazawa
● Dropsonde 購買 (林博雄/徐仲毅)
● Go/No-Go 決策流程、飛行路徑策略規劃 (吳俊傑/林博雄/Aberson /呂國臣)
● On-board data qc and qa analysis (林博雄/劉清煌)
● Surveillance flight mission (吳俊傑/林博雄/劉清煌/林沛練/洪景山)
● Analysis/Data assimilation/impact study : (吳俊傑/葉天降)
CWB : 資料接收 (程家平/洪景山) (Satellite link from the aircraft to CWB)
● Dropsonde (quasi-real-time) analysis/research (吳德榮/呂國臣/洪景山/黃椿喜;吳俊傑/林博雄/劉清煌)
● Global model (馮欽賜/陳雯美/黃麗玫)
● Regional model (滕春慈/林淑卿)
● TFS (黃康寧/陳得松)
● CAA-MM5 (黃光遠)
NTU : Impact on MM5 analysis/simulation through
● 3D/ 4D-VAR data assimilation (吳俊傑/周昆炫/黃葳芃)
● Validation: sounding, satellite data (Quik-scat, GPS/MET)
NCEP : GDAS→AVN (Naomi Surgi/Hua-Lu Pan) →GFDL hurricane model (吳俊傑/ Morris Bender/Sim Aberson /徐光前)
US NAVY : NOGAPS / COAMPS / GFDN (吳俊傑 / Mary Alice Rennick / 徐光前)

本研究所進行之「侵台颱風之 GPS Dropsonde 飛機偵察觀測實驗」研究深受國際矚目（特別是飽受颱風影響的美、日等國）。為充分學習美國相關研究之寶貴經驗與技術，本研究與美國國家大氣及海洋總署所屬颶風研究中心進行密切合作，並已於 2002 年 8-9 月，由主持人帶領四位研究人員（林博雄、劉清煌、洪景山、林沛練）赴美國颶風研究中心，接受為期兩個月的大西洋颶風偵察飛機觀測訓練任務 [見雙方科學家合影 (圖 2)、G-IV 外觀 (圖 3)、內裝 (圖 4) 與 GPS dropsonde 之儲存箱和投擲發射器 (圖 5)、及執行 G-IV 任務期間之颶風空照圖 (圖 6)]。

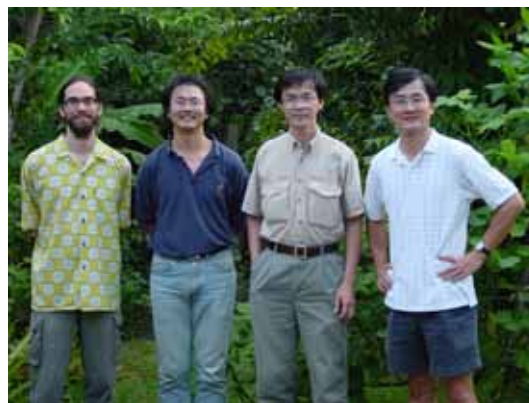


圖 2. HRD Dr. Sim Aberson (左一) 和國內首批 G4 訪問學者合影。



圖 3. NOAA Gulfstream-IV 飛機於 Florida Tampa MacDill 基地。



圖 4. NOAA G4 機艙內部工作環境，照片前端左右兩台工作機櫃都是 Vaisala AVAPS 處理終端機，每一台終端機可同時處理四份 dropsonde。



圖 5. NOAA G4 dropsonde 儲存箱和投擲發射器 (劉清煌拍攝)。



圖 6. 2002/09/03 G-4 飛越 Edouard 颱風氣旋式雲帶上空 (劉清煌拍攝)。

考察人員回國後追風計畫即開始展開一連串的籌備工作，如：與漢翔公司簽署合作意願備忘錄、與中央氣象局協調模式分析事宜、



圖 7. 漢翔公司 (AIDC) 完成 AVAPS 系統安裝及通過適航驗證。



圖 8. 機上電腦系統及投落送探空儀及其訊號接收系統設備圖。

RD93 GPS Dropsonde 的採購及 AIDC 軟體測試，期間更有 NCEP 的 Dr. Hua-Lu Pan 來訪討論資料傳輸至美國 NCEP 事宜。參與計畫的漢翔航空公司將 ASTRA 飛機觀測平台及投落送設備建置完成 (圖 7、圖 8)，中央氣象局將飛機投落送觀測資料導入中央氣象局的各種天氣分析與預報模式，研究團隊完成觀測系統 (飛機、航管、通訊、投落送、機上資料分析、航路規劃決策) 及資料分析同化系統 (資料接收、即時分析、同化、模擬、協助颱風預報、資料影響評估研究) 的建置，民用航空局航管組提供飛行計劃及飛航管制協助，適航驗證中心進行 ASTRA 飛機改裝認證 (細節見表 4)。本研究計畫於 2003 年 5 月 23 日、6 月 13 日在台灣東部外海進行兩次試飛投擲投落送和電腦模式套用測試，6 月 24 日也在琉球和菲律賓飛航情報區進行測試，圓滿達成第一階段的計畫目標。

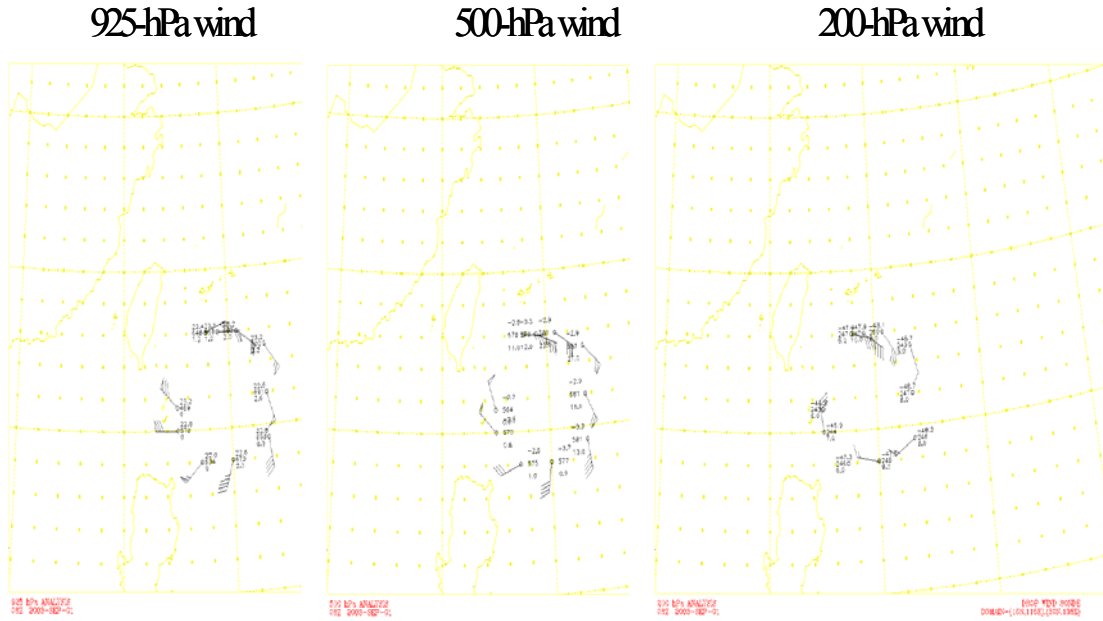


圖 11. GPS dropsondes 所測得杜鵑颱風周圍 925hPa~200hPa 的實際風場。

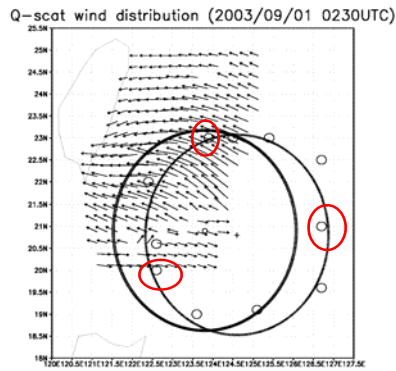


圖 12. 杜鵑颱風之 GPS dropsondes 風場與 QuikSCAT 風場比較。

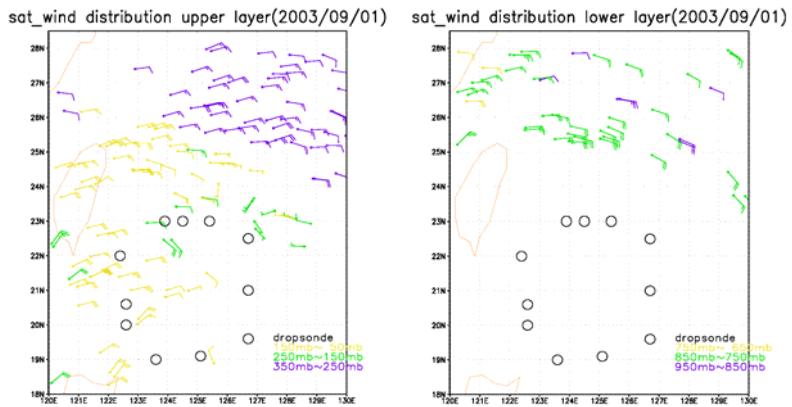


圖 13. 杜鵑颱風之 GPS dropsondes 風場與 Satellite wind 的比較。

至於對於氣象局和 AVN 模式的影響方面，圖 14 顯示 dropsondes 所測得的風場對於 AVN 和氣象局模式初始場的影響，從圖中可看出加入 dropsondes 資料後，將會對於模式初始場造成影響，並且對於不同模式間的影響也有所不同。另外，就同一模式而言，若將資料同化至不同初始時間所做的模擬，其對於預報結果的改進也有所不同 (圖 15)。以 AVN 模式而言，若以 9 月 1 日 06UTC 為初始時間所

做的模擬，在加入 dropsondes 資料後，以 AVN 模式而言，若以 9 月 1 日 06UTC 為初始時間所做的模擬，在加入 dropsondes 資料後，對於 48 小時的預報平均可改進約 36%，而以 9 月 1 日 12UTC 為初始場所做的模擬結果來看，其 48 小時的預報平均則可改進約 11%。整體來說，對模式影響較顯著的時間集中在模擬前 24~30 小時，並且對於路徑的預報皆有所改善。

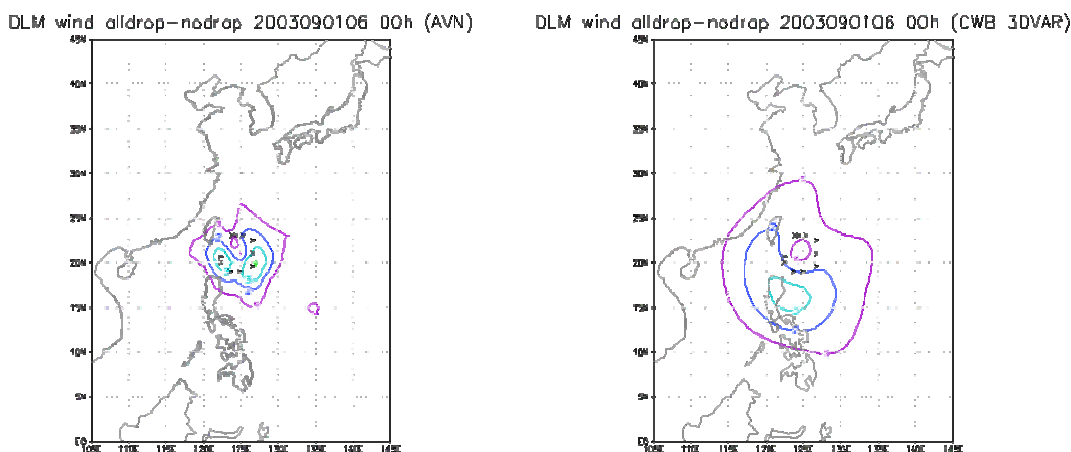
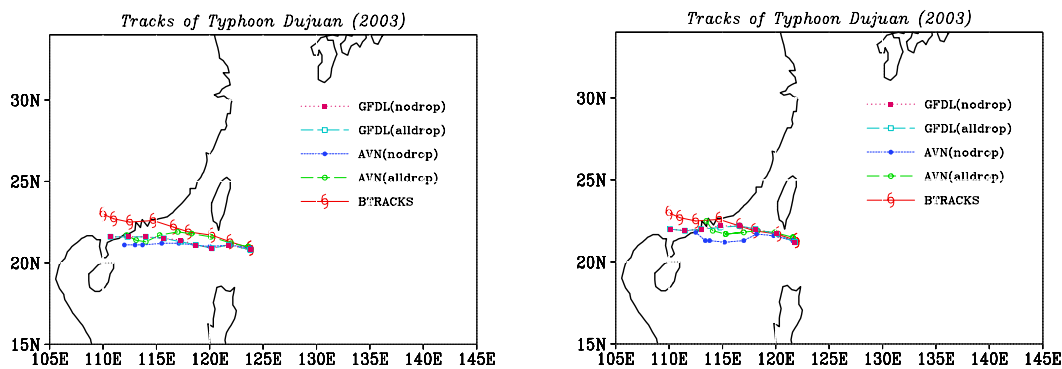


圖 14. 杜鵑颱風之 GPS dropsondes 資料對於 AVN 和氣象局模式初始深層平均風場的影響。



模擬時間 (hr)	6	12	18	24	30	36	42	48
AVN (alldrop)	15	15	33	53	118	204	260	268
AVN (nodrop)	22	81	108	123	176	199	272	295
AVNIMPRV (%)	32%	81%	69%	57%	33%	-3%	4%	9%
GFDL (alldrop)	25	89	115	123	160	184	181	172
GFDL (nodrop)	25	89	115	115	160	184	189	172
GFDL IMPRV (%)	0%	0%	0%	-7%	0%	0%	4%	0%

模擬時間 (hr)	6	12	18	24	30	36	42
AVN (alldrop)	33	31	61	118	199	290	294
AVN (nodrop)	43	30	108	164	189	292	290
AVN IMPRV (%)	23%	-3%	44%	28%	-5%	1%	-1%
GFDL (alldrop)	10	15	0	57	76	103	112
GFDL (nodrop)	10	15	0	46	76	103	112
GFDL IMPRV (%)	0%	0%	0%	-24%	0%	0%	0%

圖 15. 杜鵑颱風之 GPS dropsondes 資料對於不同初始時間及模式，於模擬 48 小時期間對其路徑的改進情形。

追風計畫於今年 11 月 2 日更針對罕見之 11 月侵台颱風—米勒，進行颱風偵測及投落送觀測任務。漢翔公司之 ASTRA 飛機搭載台灣大學大氣科學系林博雄教授及中央大學大氣科學系林沛練教授等研究人員，自清泉崗機場起飛，飛機在繞過北台灣之後，沿著台灣東岸南飛，在綠島附近投擲下第一枚投落送觀測儀，飛機在通過墾丁之後，繼續南飛，並陸續投下數枚投落送。觀測飛機以 41000 英尺高度飛行，成功飛越米勒颱風中心 (圖 16)，為追風計畫量測颱風中心附近結構資料開啓新的里程。觀測飛機在抵達呂宋島北端後，隨即折向西行。在完成颱風西側繞行及投落送觀測後，飛返台灣西南端，並投下最後一枚 (第 15 枚) 投落送觀測儀，最後順利於清泉崗機場降落 (圖 17)。



圖 16. 飛行期間所攝得米勒颱風之中心。

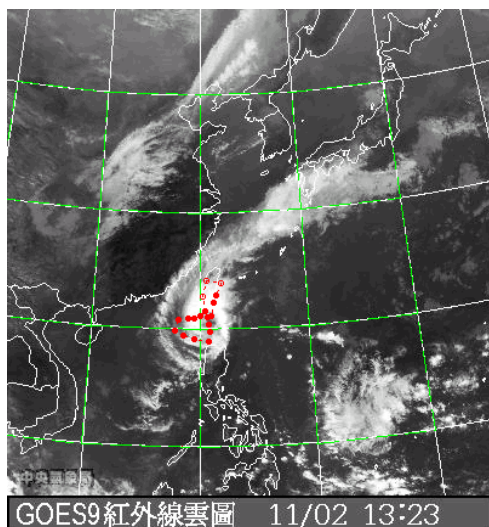


圖 17. 米勒颱風飛行觀測路徑。

由所獲得的資料分析顯示 (圖 18)，米勒颱風由底層至高層大致維持著氣旋式的環流結構，而在 200 hPa 則可看見颱風西側高層的外流結構。同樣的，我們也將此一資料用來和 QuikSCAT 風場進行驗證比較 (圖 19)。而圖二十更顯示由北往南飛越颱風中心附近五個投落送資料所建構的風速 (等值線) 及相當位溫 (陰影)。這是第一次透過投落送資料所觀測到侵台颱風的中心眼牆結構，圖 20 清楚顯示米勒颱風所具有之大眼特徵及暖心特性。除此之外，將來也將針對此個案探討 dropsondes 資料對於不同模式的影響，並且也將進行有關邊界層方面問題的研究。總結米勒任務的重要收穫如下：

- 追風計畫首次直接飛越颱風中心，為後續颱風中心結構觀測奠下關鍵基礎。
- 所獲取寶貴投落送資料將可與衛星資料及七股與墾丁雷達資料相互結合並進行驗證比較。將為颱風眼牆、雨帶、環流及結構研究帶來突破。
- 此資料可對於颱風模式路徑預報改進研究提供重要資訊。

透過杜鵑颱風及米勒颱風觀測所獲取之重要資料及寶貴觀測經驗，相信對於未來的颱風觀測將會更加成熟圓滿，而我們也將於 2003~2005 這 3 年颱風季節期間，持續針對西北太平洋地區威脅台灣的颱風 (見表 5 之規劃) 進行此一重大颱風偵察觀測計畫。此研究計畫成果可望為颱風研究及颱風監測與預報帶來前瞻性突破。

三、結語及未來展望

颱風研究乃是台灣地區大氣科學研究的一大重點，也是此領域中的獨特議題。過去幾年來，國內在颱風研究上已有許多重要成果。

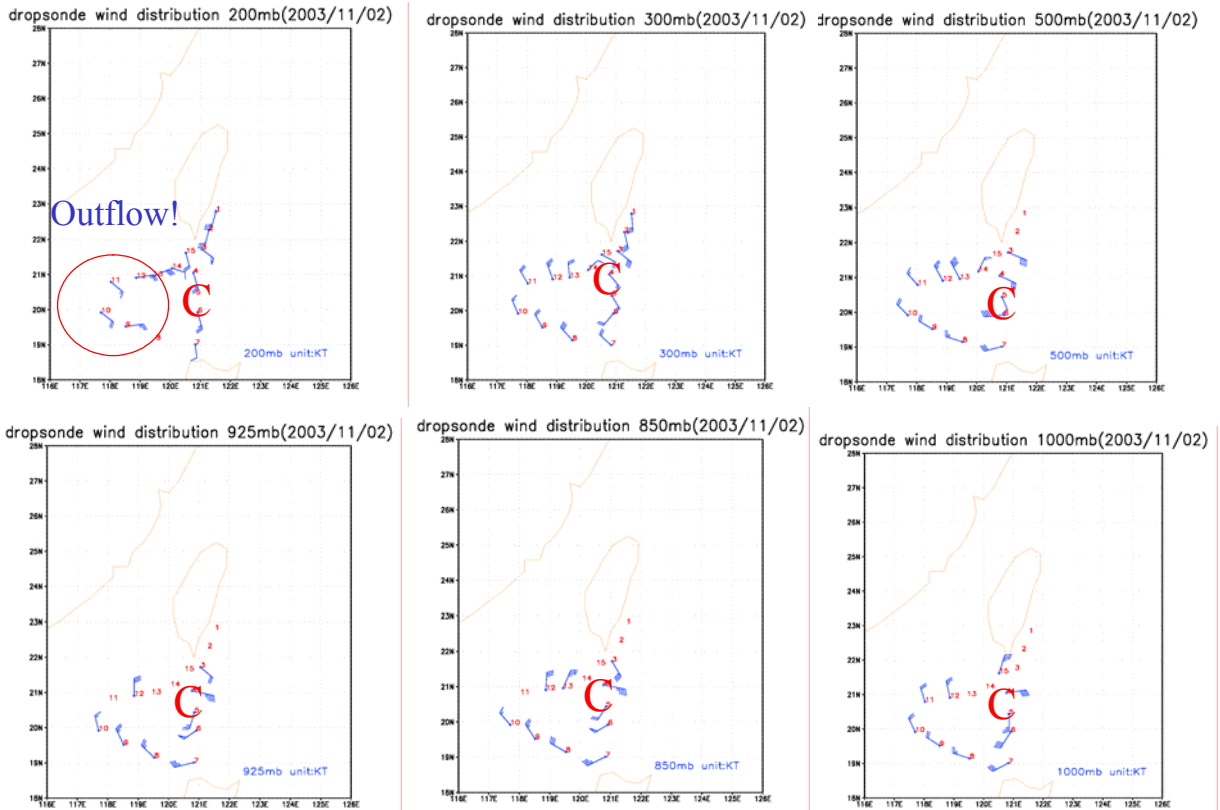


圖 18. GPS dropsondes 所測得米勒颱風中心及其附近之 925hPa~200hPa 的實際風場。

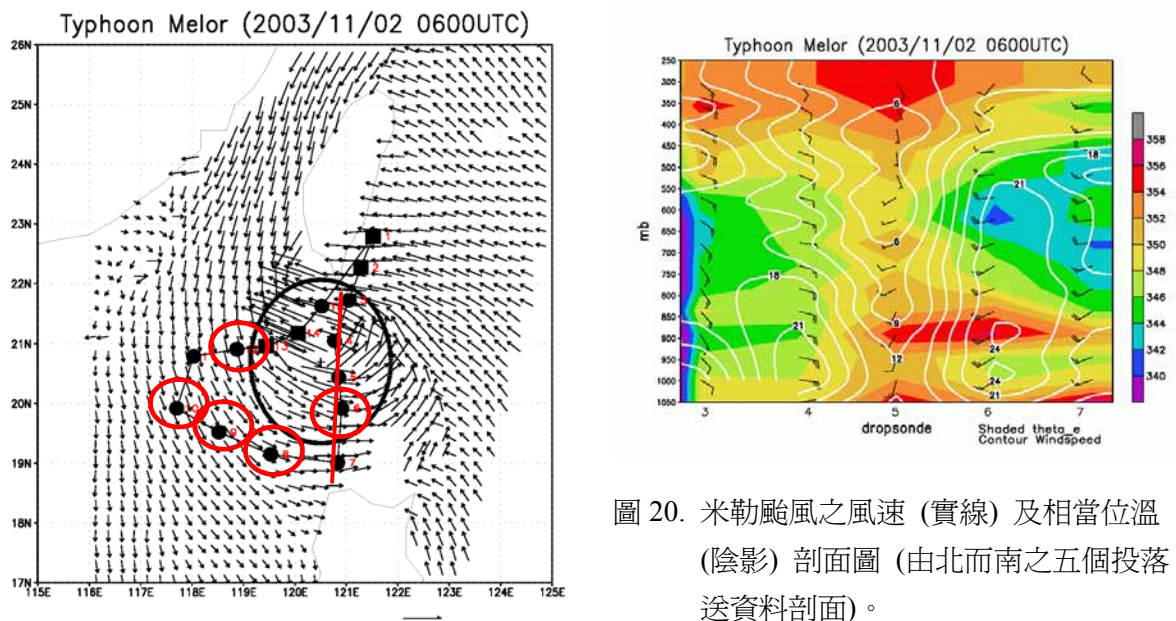


圖 20. 米勒颱風之風速 (實線) 及相當位溫 (陰影) 剖面圖 (由北而南之五個投落送資料剖面)。

QuikSCAT → 06:30 UTC
 Dropsonde → 04:41~06:20 UTC

- : surface winds were measured
- : Close circle: The dropsondes are near QuikSCAT surface wind.
- : Close square : bad dropsondes
- : cross section

圖 19. 米勒颱風之 GPS dropsondes 風場與 QuikSCAT 風場比較。

表 5. GPS dropsonde 颱風觀測運作程序

侵台颱風警報發布 (W-hour)	程序
W96~W78	1.取得 NCEP 系集預報了解颱風路徑預報最大誤差可能區域圖集 2.設計飛航路線和 GPS dropsonde 拋投位置 3.傳送飛行路徑給予飛機公司 4.機師修正和確認飛航路線並提出飛航計劃給予民航單位發布飛航公告
W60	決定是否如期操作第一架次 (W54~W48)飛行計劃
W54~W48	1.進行飛行觀測 (中原時區 17:00~23:00) 由台中清泉崗 (漢翔) 或松山機場 (日本) 起降 2.海上探空資料透過衛星電話即時傳送到達中央氣象局
W42	決定第二架次(W30~W24)是否起飛
W30~W24	1.同 W54~48 2.同 W54~48 3.停止觀測

本文簡介國科會最近所支持的重大颱風基礎學術研究計畫－追風計畫。我們預計透過此三年的大型研究，建立國內在颱風觀測及數值模擬同化研究之重要基礎，並協助預報與防災改進等相關議題。我們深信此研究計畫成果將能進一步提升我國在颱風研究領域之國際地位與能見度，特別是在受颱風侵襲之東亞地區國家中得居領導地位；於追求卓越學術研究之際，另一方面也將協助颱風預報之改進，我們也相信其中颱風偵察觀測成果將為颱風研究及颱風監測與預報帶來重大突破。我們期待透過此一大型研究的推展，為國內長遠的颱風相關研究奠定穩固的基礎，一個以台灣為主軸的國際級颱風研究中心也能因而逐漸成形。

致謝

感謝國科會自然處楊弘敦處長的鼎力支

持，使得這個計畫得以順利推展。承蒙蔡清彥政務委員、劉紹臣教授及謝信良局長的長期協助與指導，此研究計畫得以順利推展。追風計畫研究團隊的努力與奉獻及國內許多颱風相關研究專家學者的參與合作，乃是此計畫成功之重要推手。

參考文獻

- Aberson, S. D., and J. L. Franklin, 1999. Impact on hurricane track and intensity forecasts of GPS dropwindsonde observations from the first-season flights of the NOAA gulfstream-IV Jet Aircraft. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 421-427.
- Burpee, R. W., J. L. Franklin, S. J. Lord, R. E. Tuleya, and S. D. Aberson, 1996. The impact of Omegadropwindsondes on operational hurricane track forecast models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 925-933.
- Franklin, J. L., S. E. Fruer, J. Kaplan, and S. D. Aberson, 1996. Tropical cyclone motion and surrounding flow relationships: searching for Beta Gyres in Omega dropwindsonde datasets. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 64-84.
- Hock, T. F., and J.L. Franklin, 1999. The NCAR GPS dropwindsondes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 407-420.
- Tuleya, R. E., and S. J. Lord, 1996. The impact of dropwindsonde data on GFDL hurricane model forecasts using global analyses. *Wea. and Fore.*, 12, 307-323.
- Wu, C.-C., and Y.-H. Kuo, 1999. Typhoons affecting Taiwan: current understanding and future challenges. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 67-80.
- Wu, C.-C., P. H. Lin, T. C. Yeh, and S. D. Aberson, 2003. Dropsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region (DOTSTAR): An overview (to be

submitted to *Bull. Amer. Meteor. Soc.*).

吳俊傑、郭鴻基、林博雄、葉天降、陳台琦、
洪景山、劉清煌、林沛練，2003。「颱風
重點研究」暨「侵台颱風之 GPS
Dropsonde 飛機偵察觀測實驗」。中華民國
氣象學會會刊。第四十四期，1-14。