

交通部中央氣象局委託研究計畫成果報告

96 年飛機投落颱風觀測

計畫類別：國內 國外

計畫編號： MOTC-CWB-96-6M-02

執行期間：96 年 4 月 25 日至 96 年 12 月 31 日

計畫主持人：吳俊傑、林博雄

協同研究人員：周昆炫、徐仲毅、陳得松、黃康寧

執行單位：國立台灣大學 大氣科學系

中華民國 96 年 11 月 30 日

96 年度政府部門科技計畫期末摘要報告

計畫名稱：96 年飛機投落送颱風觀測

審議編號：	x	部會署原計畫編號：	MOTC-CWB-96-6M-02
主管機關：	交通部中央氣象局	執行單位：	台灣大學大氣科學系
計畫主持人：	吳俊傑	聯絡人：	吳俊傑
電話號碼：	02-2363-2303	傳真號碼：	02-2363-2303
期程：	96 年 4 月 25 日至 96 年 12 月 31 日		
經費：(全程)	8500 仟元	經費(年度)	8500 仟元

執行情形：

1. 執行進度：

	預定 (%)	實際 (%)	比較 (%)
當年	100	100	0
全程	100	100	0

2. 經費支用：

	預定 (%)	實際 (%)	支用率 (%)
當年	100	100	100
全程	100	100	100

3. 主要執行成果：

- 本計畫今年度至今已完成帕布、聖帕、韋帕及柯羅莎颱風等四次飛機觀測。
- 截至 11 月 30 日，在帕布、聖帕、韋帕及柯羅莎颱風等四次飛機觀測中，累計的飛行時數已達 22 個小時，並成功使用 73 具投落送。
- 四次颱風觀測的投落送資料均已透過衛星電話撥接回傳中央氣象局，並即時顯示於氣象局 WINS 系統。
- 投落送資料模式影響評估研究已有部分成果。氣象局 NFS 與 JMA GSM 模式目前已完成所有觀測個案的路徑影響評估實驗。在氣象局 NFS 模式的結果中，前 72 小時的平均路徑誤差改進率約有 5%，而 JMA GSM 則有 9% 左右。
- 追風計畫已成為世界氣象組織所規劃 THORPEX 實驗 2008 年亞洲觀測實驗的重要一環，將與東亞各國共同合作推動 THORPEX/PARC 實驗。

4. 計畫變更說明：

5. 落後原因：

6. 主管機關之因應對策（檢討與建議）：

96 年度政府部門科技計畫期末報告

計畫名稱：96 年飛機投落送颱風觀測

吳俊傑、林博雄

國立台灣大學大氣科學系

摘 要

歷年來颱風屢屢造成台灣地區重大災害，颱風研究的重要性不容小覷。國科會於 2002 年 8 月起三年內提供相當經費，進行由台大大氣科學系吳俊傑教授所主持的「颱風重點研究」(National Priority Typhoon Research)。首要研究項目是以「全球衛星定位式投落送」(GPS Dropwindsonde)進行飛機觀測，名為侵台颱風之飛機偵察及投落送觀測實驗 [Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region (DOTSTAR)]，又名追風計畫。追風計畫是一跨部會、臺美兩國跨國合作、並由我國研究人員主導的國際研究計畫，並與美國國家海洋大氣總署所屬颶風研究中心(NOAA/HRD)、國家環境預報中心(NCEP)等共同合作。此計畫使台灣在國際颱風研究領域中進入新的里程碑，扮演西北太平洋及東亞地區颱風研究的領導角色。

此計畫將使用 ASTRA 飛機與機載垂直大氣探空系統(AVAPS)設備，以每架次 5-6 小時時間直接飛到颱風周圍 43000 英呎的高度投擲投落送，以取得颱風周圍關鍵區域的大氣環境資料：溫度、溼度、氣壓以及風速等，所取得的資料會即時傳送至中央氣象局、NCEP、FNMOC 以及 JMA，並同化至 CWB, NCEP (AVN/GFDL), FNMOC (NOGAPS/COAMPS/GFDN), UKMET 以及 JMA 等模式中。以期對於颱風分析與路徑預報上提供可貴的資料；增進對颱風動力，特別是邊界層的了解 (Wu et al. 2005, BAMS)。其成果更可作為我國及各國未來擬定飛機觀測策略的重大指標，亦有助於推動策略性颱風觀測 (targeted observation)。

民國 92 年 9 月至今，追風計畫已針對杜鵑、米勒 (以上為 2003 年所觀測)、妮妲、康森、敏督利、梅姬、艾利、米雷、納坦、南瑪都 (以上為 2004 年所觀

測)、海棠、馬莎、珊瑚、卡努、龍王(以上為 2005 年所觀測)、碧利斯、凱米、寶發、桑美、珊珊(以上為 2006 年所觀測)等 20 個颱風完成 24 航次之飛機偵察及投落送觀測任務，總計在颱風上空飛行 129 小時，並成功投擲 386 枚投落送。在觀測的同時，這些寶貴的投落送資料皆即時進入中央氣象局及世界各國氣象單位之電腦預測系統中，協助預測颱風路徑及分析其周圍結構，如暴風半徑(對颱風停班停課之決策具關鍵性影響)。到民國 93 年底為止，針對追風計畫所得資料的評估結果顯示，投落送資料平均可以改進美國氣象局、美國海軍及日本氣象廳全球電腦模式前 72 小時颱風路徑預測準確度達 20% (Wu et al. 2007b)。本研究團隊亦使用 MM5 模式與其伴隨之 3DVAR 模式，來進行有效結合虛擬渦旋與投落送資料的渦旋初始化工作，研究結果顯示透過此方法，颱風之路徑及強度預報能力將有明顯提升 (Chou and Wu 2007)。另一方面，投落送也已被成功用來驗證及校正衛星與雷達等遙測資料，藉此提升遙測颱風參數的可信度。追風研究團隊也已經在主要國際學術期刊發表數篇研究成果。

國科會所推動的追風計畫相當圓滿成功，第一期計畫已經在民國 94 年 7 月結束。追風研究團隊除持續進行具關鍵性的後續研究外，也正積極進行第二期追風計畫(民國 94 至 97 年)，在以中央氣象局為主、加上國科會的合作支持下繼續推動，一方面對國內科技、民生與防災有重大貢獻，另一方面則期望做出具突破性的研究成果，並在國際學術研究領域佔有一席之地。本委託計畫延續追風計畫過去五年所累積之研究成果，繼續執行使用 GPS 投落送進行颱風飛機偵察之觀測任務。在氣象局與國科會的經費聯合支持下，氣象局主要是提供飛機觀測所需要的飛機租賃費用，而國科會則提供購買投落送及其他研究所需之相關經費。

本計畫今年度至今已完成帕布、聖帕、韋帕及柯羅莎颱風等四次飛機觀測。在帕布、聖帕、韋帕及柯羅莎颱風等四次飛機觀測中，累計的飛行時數已達 22 個小時，並成功使用 73 具投落送。另外，四次颱風觀測的投落送資料均已透過衛星電話撥接回傳中央氣象局，並即時顯示於氣象局 WINS 系統。此外，投落送資料模式影響評估實驗亦已完成。氣象局 NFS 與 JMA GSM 模式目前已完成所有觀測個案的路徑影響評估實驗。在氣象局 NFS 模式的結果中，前 72 小時的平均路徑誤差改進率約有 5%，而 JMA GSM 則有 9% 左右。

在 2006 年 THORPEX/PARC (The Observation System Research and

Predictability Experiment Pacific-Asian Regional Campaign）的國際會議結論中，日本規劃在 2008 年起亦會使用飛機進行侵日颱風的 GPS 投落送觀測，此國際性研究計畫將與台灣地區的追風計畫相互輝映，預期此藉由飛機量測颱風周圍資料將有更大的影響。另外，追風計畫已成為世界氣象組織所規劃 THORPEX 實驗 2008 年亞洲觀測實驗的重要一環，將與東亞各國共同合作推動 THORPEX/PARC 實驗。主持人亦於 2006 年 11 月受邀參與聯合國世界氣象組織所主辦的第六屆熱帶氣旋國際研討會（6th International Workshop on Tropical Cyclones），並針對颱風之策略性觀測及資料同化給予專題回顧演講。會中追風計畫深受國際矚目並為多次演講所引用。國人所支持及成功推動的追風計畫在國際間已具一席之地。會議結論並正式推薦未來更多國家共同參與相關之颱風飛機觀測研究。

在 2007 年 4 月主持人受邀前往韓國濟州島，參加為慶祝韓國颱風中心成立所舉行的颱風研討會，並針對台灣追風計畫的相關研究成果發表演講。另外，在 6 月台灣所舉辦的 PSA 會議中，主持人亦邀請美國、日本主要參與 THORPEX/PARC 實驗的學者進行科學議題探討與 2008 年國際觀測實驗細節進行討論。此外，同年 7 月主持人亦前往日本參與 THORPEX/PARC 的 ARC (Asian Regional Committee) 委員會議，與亞太各國的氣象學者分享台灣追風計畫成果與經驗交流，另外亦與 JMA 及 MRI 多數學者討論 2008 年台灣與日本共同進行颱風飛機觀測實驗的事宜，一切規劃進展非常順利成功。此外，主持人也受邀前往韓國延世(Yonsei)大學參與觀測研討會，會議中主要為討論 2008 年國際觀測實驗的合作事宜。

今年 12 月 4-7 號，主持人亦將前往夏威夷參加 T-PARC 所舉辦的 2008 年觀測實驗的規劃會議。美國海軍正規劃進行 TCS-08 實驗(Tropical Cyclone Structure 2008)，將於 2008 年派遣美國海軍 P3 與空軍 C-130 飛機於西北太平洋共同參與 T-PARC 觀測實驗。目前也積極規劃如何針對位於台灣與日本琉球群島附近的颱風，進行同時有四架飛機（台灣的 Astra、日本的 Falcon 與美國的 P3、C130）的觀測實驗。我們將共同合力促成此臺、日、美的國際觀風觀測實驗，並期望這些觀測資料可以對國際颱風研究與預報能有所助益。

最後，我們也預期在學術界與氣象局的充分合作下，將讓學術界在颱風議題上位於國際研究與作業的前端，而氣象局的付出與投入亦能符合社會大眾最迫

切的需求，如此學界與氣象局將創造雙贏的局面。總之，颱風之投落送飛機觀測已有具體成果，對於國內及國際皆有相當之貢獻。我們感謝中央氣象局之充分支持，讓這一個重大的學術及作業研究計畫持續發揚光大，進而造福民生。

目 錄

中文摘要	3
目錄	7
圖表說明	8
一、前言	11
二、「颱風重點研究」說明	11
三、「颱風偵察飛機觀測實驗」	13
四、觀測個案	24
五、投落送資料模式影響評估研究	40
六、結論	54
致謝	57
參考文獻	58

圖表說明

圖 3.1: THORPEX/PARC 於 2008 年所規劃之國際性大型觀測實驗計畫。(由 Dave Parsons 提供)	18
圖 3.2: 2008 年台灣 DOTSTAR 與日本 TH08 計畫之假想颱風觀測情形。藍色路徑為 DOTSTAR 之觀測路徑；紫色則為 TH08 之飛行路徑。	18
圖 4.1: 氣象局於 8 月 6 日 00Z 所發佈之帕布颱風移動路徑。	27
圖 4.2: 帕布颱風飛機觀測飛行路徑及 16 枚投落送拋投順序與位置。	27
圖 4.3: 帕布颱風飛機觀測之飛行軌跡及飛機高度 (feet)、機外溫度 (°C) 與風場 (m/s)。	28
圖 4.4: 氣象局 QPESUMS 系統於 8 月 7 日 00Z 即時顯示之颱風路徑、衛星雲圖、雷達回波資訊。	28
圖 4.5: 氣象局 WINS 系統所顯示帕布颱風 925 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。	29
圖 4.6: 氣象局 WINS 系統所顯示帕布颱風 250 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。	29
圖 4.7: 台大研究團隊根據高垂直解析度的投落送資料所分析之地面風場，單位 m/s。	30
圖 4.8: 氣象局於 8 月 16 日 00Z 所發佈之聖帕颱風移動路徑。	30
圖 4.9: 聖帕颱風飛機觀測飛行路徑及 20 枚投落送拋投順序、位置與高垂直解析度的投落送資料所分析之地面風場，單位 m/s。	31
圖 4.10: 聖帕颱風飛機觀測之飛行軌跡及飛機高度 (feet)、機外溫度 (°C) 與風場 (m/s)。	31
圖 4.11: 氣象局 QPESUMS 系統於 8 月 16 日 02Z 即時顯示之颱風路徑、衛星雲圖、雷達回波資訊。	32
圖 4.12: 氣象局 WINS 系統所顯示聖帕颱風 925 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。	32
圖 4.13: 氣象局 WINS 系統所顯示聖帕颱風 250 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。	33
圖 4.14: 氣象局於 9 月 17 日 00Z 所發佈之韋帕颱風移動路徑。	33
圖 4.15: 韋帕颱風飛機觀測飛行路徑及 16 枚投落送拋投順序、位置與高垂直解析度的投落送資料所分析之地面風場，單位 m/s。	34
圖 4.16: 韋帕颱風飛機觀測之飛行軌跡及飛機高度 (feet)、機外溫度 (°C) 與風場 (m/s)。	34

圖 4.17：氣象局 QPESUMS 系統於 9 月 17 日 12Z 即時顯示之颱風路徑、衛星雲圖、雷達回波資訊。	35
圖 4.18：氣象局 WINS 系統所顯示韋帕颱風 925 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。	35
圖 4.19：氣象局 WINS 系統所顯示韋帕颱風 300 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。	36
圖 4.20：氣象局於 10 月 4 日 12Z 所發佈之柯羅莎颱風移動路徑。	36
圖 4.21：柯羅莎颱風飛機觀測飛行路徑及 19 枚投落送拋投順序、位置與高垂直解析度的投落送資料所分析之地面風場，單位 m/s。	37
圖 4.22：柯羅莎颱風飛機觀測之飛行軌跡及飛機高度 (feet)、機外溫度 (°C) 與風場 (m/s)。	37
圖 4.23：氣象局 QPESUMS 系統於 10 月 4 日 12Z 即時顯示之颱風路徑、衛星雲圖、雷達回波資訊。	38
圖 4.24：氣象局 WINS 系統所顯示柯羅莎颱風 925 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。	38
圖 4.25：氣象局 WINS 系統所顯示柯羅莎颱風 250 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。	39
圖 5.1：聖帕颱風的 JTWC 最佳路徑與 JMA GSM 有無投落送資料實驗的模擬路徑。TKE(ND)為無投落送實驗路徑誤差，TKE(WD)為有投落送實驗路徑誤差，單位，公里。IMP(km)為路徑誤差減少，單位，公里；IMP(%)為路徑改善率，單位，%。	45
圖 5.2：韋帕颱風的 JTWC 最佳路徑與 JMA GSM 有無投落送資料實驗的模擬路徑。TKE(ND)為無投落送實驗路徑誤差，TKE(WD)為有投落送實驗路徑誤差，單位，公里。IMP(km)為路徑誤差減少，單位，公里；IMP(%)為路徑改善率，單位，%。	45
圖 5.3：柯羅莎颱風的 JTWC 最佳路徑與 JMA GSM 有無投落送資料實驗的模擬路徑。TKE(ND)為無投落送實驗路徑誤差，TKE(WD)為有投落送實驗路徑誤差，單位，公里。IMP(km)為路徑誤差減少，單位，公里；IMP(%)為路徑改善率，單位，%。	46
圖 5.4：JMA GSM 模式於 2007 年所進行投落送資料影響評估實驗的平均路徑誤差及路徑誤差改進率，個案數總共有 3 個。	46
圖 5.5：帕布颱風的 CWB 最佳路徑與 NFS 45 公里解析度有無投落送資料實驗的模擬路徑，兩實驗均有進行渦旋植入的程序。	47

圖 5.6：帕布颱風的 CWB 最佳路徑與 NFS 45 公里解析度有無投落送資料實驗的模擬路徑，兩實驗均無進行渦旋植入的程序。	48
圖 5.7：帕布颱風的 CWB 最佳路徑與 NFS 45 公里解析度有無投落送資料實驗的模擬路徑，兩實驗均有進行渦旋植入的程序，但為 5 點的 bogus sounding 資料。	49
圖 5.8：聖帕颱風的 CWB 最佳路徑與 NFS 45 公里解析度有無投落送資料實驗的模擬路徑，兩實驗均有進行渦旋植入的程序。	50
圖 5.9：韋帕颱風的 CWB 最佳路徑與 NFS 45 公里解析度有無投落送資料實驗的模擬路徑，兩實驗均有進行渦旋植入的程序。	51
圖 5.10：柯羅莎颱風的 CWB 最佳路徑與 NFS 45 公里解析度有無投落送資料實驗的模擬路徑，兩實驗均有進行渦旋植入的程序。	52
圖 5.11:CWB NFS 模式於 2007 年所進行投落送資料影響評估實驗的平均路徑誤差及路徑誤差改進率，個案數總共有 4 個。	53

一、前言

颱風是自然界最具破壞力的天氣系統，也是台灣最重要的災變天氣，但其所帶來的雨量亦是台灣地區最重要的水資源之一。以 1995 年為例，許多颱風過門而不入，未帶來足夠降水，使得全省水庫貯水量持續下降，因此造成缺水及限水的問題，從而嚴重影響農耕及經濟民生。另外，同年的賴恩颱風於 9 月 22 日掠過恆春半島外海，因為路徑預報的輕微誤差以及暴風半徑的減小，使台灣大部分地區民眾度過一個少風、少雨的停班停課日，也使國家損失一天的經濟生產（近百億台幣損失）。而 1996 年的賀伯颱風，雖然中央氣象局提供相當不錯的路徑預報，但因雨量過大及防災體系運作並未落實，導致台灣承受了近二十年來最大的天然災害（超過五百億台幣的直接損失）。1998 年的瑞伯颱風與芭比絲颱風、2000 年的象神颱風、2001 年的桃芝及納莉颱風、2004 年的敏督利與艾利颱風也都重創台灣，造成重大人員傷亡及經濟與農業損失。但有趣的是，2002 年台灣地區的旱象卻也相對地因娜克莉及雷馬遜颱風的造訪而解除。

以上實例在在突顯颱風對台灣地區的重要性；綜合而言，颱風的影響在於：

- (1) 直接間接的經濟、交通建設、農業災害、社會安定、水利、土木建築…等破壞災害（持續的豪雨、強風和暴潮所導致之淹水、土石流、坍方、海水倒灌…等）；
- (2) 停班停課期間（侵台乃至離台後）對經濟面之重大衝擊；以及(3) 水資源之管理與規劃。

基於颱風對於台灣地區的重大衝擊，行政院於 1996 年 9 月召開的第五次全國科技會議中，決定將防颱防洪列為天然災害防治的國家型計畫中。如何加強對於侵台颱風路徑、結構與風雨分佈之瞭解與研究，進而提昇侵台颱風路徑、風雨的預報能力，且將颱風減災納入整個防災決策系統中，應是颱風研究乃至國內大氣科學界中最重要的課題之一。

二、「颱風重點研究」說明

有鑑於 2001 年桃芝及納莉等颱風重創台灣，造成台灣地區的嚴重災情與損失，颱風基礎及預報改進研究的重要性愈發不容小覷，國科會因此決定在過去三年內（自 2002 年 8 月 1 日至 2005 年 7 月 31 日止），提供相當之經費補助「颱風重點研究」計畫，我們提出兩階段的研究規劃。其中第一階段（2002 年 8 月～

2005 年 7 月），著重在颱風模擬同化研究及建立其計算與觀測平台，而第二階段（2005 年 8 月～2008 年 7 月）則將進行深入研究，且著重在發表重要科學論文與實質改進颱風預報。本研究團隊已在過去四年（2002 年 8 月～2006 年 7 月）完成第一階段任務，並持續積極進行與達成第二階段的研究目標與內容。

值得一提的是，中央氣象局亦積極參與本計畫，並提供相當的人力及設備支援。此研究計有台灣大學、中央大學、文化大學、中央研究院、中央氣象局等五個研究單位，十八位博士級研究人員共同參與。研究目標包括提升颱風動力理論與改進颱風預報，特別是結合新的颱風觀測系統及颱風數值模擬與同化，以進行突破性的颱風研究。由於颱風生命期之絕大部分皆於海面上度過，而西北太平洋島嶼中測站稀少，尤其是在台灣的東—東南方數千公里以上之太平洋地區，幾乎沒有任何觀測站。因此當颱風位於台灣附近時，台灣本島雖有觀測資料，但測站密度仍嫌不足，而台灣周圍海域除衛星和雷達觀測外，幾無任何其他傳統觀測資料；資料的極度匱乏，導致基礎颱風研究和路徑預報之應用研究相當受到限制；其中，路徑預報的準確度則會進一步決定風雨預報能力。是以和其他的氣象研究條件比較，資料缺乏是颱風研究進步的最大致命傷。

颱風路徑預報作業上，除了大尺度駛流場的資料不足外，颱風本身的強度及暴風半徑資料不易掌握，更是決定預報路徑正確性的重要因子。此外，當颱風接近台灣地區時，中央山脈高聳、複雜的地形，對颱風伴隨之對流和環流結構有相當顯著的影響，且複雜地形會改變靠近台灣之颱風的路徑，也使風雨與路徑預報更為困難；而地形作用導致之颱風結構變化與局部豪雨產生，乃至颱風離台後引流入豪雨，皆為學術上與應用上深具挑戰之研究課題 (Wu and Kuo 1999; Wu et al. 2000a)。為了克服傳統觀測資料不足之困境，加強觀測資料之取得與分析，並透過數值模式進行模擬及同化，以瞭解颱風生成、移動、強度變化、與地形交互作用、海氣交互作用、與大尺度環流及氣候變異之關係，以及預報與防災改進等重要颱風相關議題，乃是「颱風重點研究」突破的重要方向。上述研究可望增進對於颱風動力理論之瞭解，改進颱風路徑與降雨量預報準確度，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。

另外必須強調的是，為解決觀測資料不足之問題，「颱風重點研究」包含一項具指標性的研究議題，即為「颱風偵察飛機投落送觀測實驗」。

三、「颱風偵察飛機觀測實驗」

美國自 1982 年起，便開始執行從 WP-3D 和 C-130 飛機投落 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 (pressure level higher than 400 hPa) 投擲降落傘探空進行觀測作業，探測 400 百帕以下大氣層之風場、溫度場、和濕度場剖線。結果顯示在增加 Dropsonde 資料後，可以對模式之路徑及強度預報有改善作用 (Tuleya and Lord 1997)，而 Franklin et al. (1996) 也顯示使用該資料可以協助印證颱風運動與周圍環境渦度梯度關係的颱風運動理論。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之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改進（例如：對於 12-60 小時颶風路徑預報，改進幅度達 16-30% 之多）。1996 年夏天，美國大氣研究中心(NCAR)完成新一代 GPS (Global Positioning System) wind finding 的 Dropsonde、接收主機和應用程式，技術轉移給芬蘭 Vaisala 公司製成 AVAPS(Airborne Vertical Atmospheric Profiling System) 商品，配置在 NCAR EC130Q 飛機、NOAA WP-3Ds 以及 Gulfstream IV，後者是 1996 年美國國家颶風中心所增購的高對流層噴射機-灣流四號(Gulfstream-IV SP jet，簡稱 G4)，來執行颶風和暴風雪天氣系統的投落探空觀測。前後三者的主要差別除了因飛機性能差異，GPS wind-finding 的技術也較先前的 Omega 導航定位方法所導出水平風場數據的誤差由 2 m/s 縮小到 0.5 m/s (Hock and Franklin 1999)。同時，依據 1997~1998 年之間 24 次飛行投擲 Dropsonde 的實驗結果顯示，GPS Dropsonde 資料對於 GFDL 模式大西洋颶風 48 小時路徑及強度預報可分別改進達 32% 及 20% (Aberson and Franklin 1999)。以上結果皆顯示 Dropsonde 資料對於增進颱風環境與結構瞭解及改進颱風數值預報之具體貢獻。

基於上述 GPS Dropsonde 的重要性，以及為有效增加西北太平洋颱風周遭環境大氣資料之觀測，本計畫乃規劃在西北太平洋海面上的 Dropsonde 投擲作業，並透過模式對影響模式路徑之氣象因子時空分佈探討，形成有效率的機動觀測策略，配合氣象局之資料同化能力導入海上探空資料，來提高颱風預報水準。

此重點研究整合了國內學術界及氣象局相當之人力，並與美國 NCEP、HRD、FNMOC 及日本 MRI 進行密切的合作，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。2003 年至 2006 年底為止，投落送觀測實驗（追

風計畫)已針對杜鵑、米勒、妮妲、康森、敏督利、梅姬、艾利、米雷、納坦、南瑪都、海棠、馬莎、珊瑚、卡努、龍王、碧利斯、凱米、寶發、桑美、珊瑚等等 20 個颱風完成 24 航次之飛機偵察及投落送觀測任務，總計在颱風上空飛行 129 小時、並投擲 386 枚投落送。在觀測同時，這些寶貴的投落送資料皆即時進入中央氣象局及世界各國氣象單位之電腦預測系統中，協助預測颱風路徑及分析其周圍結構，如暴風半徑(對颱風停班停課之決策具關鍵性影響)。到 2004 年底為止，針對追風計畫所得資料的評估結果顯示，投落送資料對於在颱風路徑預報的改進上，在國外三個主要全球模式均有顯著的成效，而根據三者系集平均的結果的路徑誤差修正可達 20% (Wu et al. 2007b)。本研究團隊亦使用 MM5 模式與其伴隨三維變分資料同化模式，來進行有效結合虛擬渦旋與投落送資料的渦旋初始化工作，研究結果顯示透過此結合適當渦旋結構與投落送資料的方法，颱風之路徑及強度預報能力將有明顯提升 (Chou and Wu 2007)。另一方面，投落送也已被用來驗證及校正衛星與雷達遙測資料，藉此提升遙測颱風參數的可信度。

在飛行資源及時間的限制下，如何決定出「策略性觀測(targeted observing strategy)」，為整體觀測任務中十分重要的環節。研究團隊亦使用及發展最新策略性觀測，包括「系集散落[Deep Layer mean (DLM) wind variance]」、「系集轉換卡門濾波器[Ensemble-Transform Kalman Filter (ETKF)]」、「奇異向量(Singular Vector)」及「共軛敏感度[Adjoint-Derived Sensitivity Steering Vector (ADSSV)]」等，以預先評估關鍵的敏感觀測位置，配合飛機航程及航管限制以決定投落送的最適當投落位置。

颱風路徑改進是 DOTSTAR 的核心議題，值得注意的是，到目前為止文獻上並沒有任何探討「颱風路徑預報敏感區域」的相關基礎研究。因此上述之「共軛敏感度」方法是我們延續 Wu et al. (2006) 中以「觀測系統模擬實驗(OSSE)」探討颱風渦旋初始化的工作，使用 MM5 adjoint modeling system (Zou et al. 1997) 所發展一套新的架構來尋找影響颱風駛流的敏感區域(Wu et al. 2007a)。此方法設計「反應函數(response function ; R)」為驗證區域(verifying area)之平均風場，由於模式中限制 R 須為純量，故分別定義 R_1 為 u 場之平均， R_2 為 v 場之平均，亦即 (R_1, R_2) 代表駛流向量。在利用 MM5 模式進行 36 小時的預報後，以其共軛模式往回進行 36 小時之積分，計算出 R_1 、 R_2 相對於各個控制變數之梯度，即為颱風

駛流相對於各變數之敏感程度。為使實驗結果能得到更清晰的物理解釋，我們定義 Adjoint-Derived Sensitivity Steering Vector (ADSSV) 以同時代表 R_1 、 R_2 相對於渦度的敏感性。換句話說，ADSSV 之大小代表其所在區域渦度改變量對於驗證區域駛流的敏感程度，而 ADSSV 之方向則表示渦度改變所造成的駛流改變方向。

我們已選取 2004 年六月底至七月初的敏督利颱風為測試個案，希望尋找在 2004 年 6 月 27 日 1200UTC 時，哪些「敏感區域」將影響 6 月 29 日 0000UTC 時敏督利颱風的駛流變化。由初步的實驗結果可看出，在 6 月 27 日 1200UTC 時，可能影響 6 月 29 日 0000UTC 時敏督利颱風的駛流變化的敏感區域分佈於驗證區中心東方與北方約 800~1300km 處，而由 ADSSV 的方向分布可知，若敏感區域的渦度增加，將使颱風向南的駛流分量增加；反之，此區域渦度減小時，將使颱風向北的駛流分量增加。這概念清楚顯示出敏感區域所在，並與物理直覺相符。

我們發現 DOTSTAR 在 6 月 27 日 1200UTC 投擲之投落送落點位於上述結果中 ADSSV 範圍的內側，且 ADSSV 所推得之敏感區域與其他不同方式所估計的敏感區域並不一致，上述原因或許可解釋為何在使用投落送資料後，NCEP/AVN 模式對於敏督利颱風的路徑預報並未出現改善，至於詳盡原因仍在探討中。

總之，我們期望利用共軛敏感度建立一衡量颱風駛流改善之觀測敏感位置的新物理量(ADSSV)，並透過 DOTSTAR 進行實地驗證，相信這將是一項兼具學術及預報價值的獨特研究議題。Wu et al. (2004a)已在 2004 年 12 月 WMO-THORPEX International Science Symposium 針對此新概念提出報告，並獲得相關科學家相當正面迴響。此新方法不但應用在 DOTSTAR 中，亦於 2005 年起為大西洋颶風投落送觀測所採用(Etherton et al. 2006)，相關成果亦已在 2006 年第 27 屆颶風及熱帶氣象會議及學術期刊論文中發表(Wu et al. 2006c)。個人深具信心此一相關研究會具有原創性的學術價值及作業影響。

另外，追風研究團隊在經過四年的觀測實驗後，已經累積相當豐富的飛機觀測經驗。為進一步滿足中央氣象局預報中心（吳德榮主任之討論建議）對於颱風的分析需求，我們除將持續進行策略性觀測的飛繞颱風科學實驗外，也將針對部分較弱颱風，在飛機安全許可之下，進行較靠近颱風內側的投落送量測，以得到更佳的颱風結構資料。如此追風計畫對於科學及預報的影響，將更深遠。

除此之外，在 2006 年 THORPEX/PARC(The Observation System Research and

Predictability Experiment Pacific-Asian Regional Campaign）的國際會議結論中，日本規劃在 2008 年起亦會使用飛機進行侵日颱風的 GPS 投落送觀測，此國際性研究計畫將與台灣地區的追風計畫相互輝映，預期此藉由飛機量測颱風周圍資料將有更大的影響。另外，追風計畫已成為世界氣象組織所規劃 THORPEX 實驗 2008 年亞洲觀測實驗的重要一環，將與東亞各國共同合作推動 THORPEX/PARC 實驗，如附圖 3.1 所示。追風計畫所建立的觀測平台也已為台灣正進行的西南氣流觀測實驗及規劃中的雲物理及空氣污染量測研究奠下紮實根基。主持人於 2006 年 11 月 21 日至 11 月 30 日受邀參與聯合國世界氣象組織所舉辦的「第六屆國際颱風研討會」(WMO's 6th International Workshop on Tropical Cyclones)，並針對颱風之策略性觀測及資料同化給予進行 30 分鐘專題回顧演講。會中追風計畫深受國際矚目並為多次演講所引用。國人所支持及成功推動的追風計畫在國際間已具一席之地。會議結論並正式推薦未來更多國家共同參與相關之颱風飛機觀測研究。

在分別由台灣氣象局、國科會、美國 NSF 及 ONR 經費支持下，主持人正領導國際相關研究團隊成員進行一項颱風觀測策略理論比較及資料同化研究，此亦為世界氣象組織於第六屆國際颱風研討會後所宣示之重點議題之一。美國氣象學會所發行 Monthly Weather Review 期刊的總編輯 (Editor in Chief) 已於 2007 年 7 月核准主持人吳俊傑所提出之專刊申請 (Special Collection on Targeted Observations, Data Assimilation, and Tropical Cyclone Predictability)，預計於 2008 年發表刊出相關二十篇(待審查通過)由主持人所主導並衍生之國際性論文專刊。

在 2007 年 4 月主持人受邀前往韓國濟州島，參加為慶祝韓國颱風中心成立所舉行的颱風研討會，並針對台灣追風計畫的相關研究成果發表演講。另外，在 6 月台灣所舉辦的 PSA 會議中，主持人亦邀請美國、日本主要參與 THORPEX/PARC 實驗的學者進行科學議題探討與 2008 年國際觀測實驗細節進行討論。此外，同年 7 月主持人亦前往日本參與 THORPEX/PARC 的 ARC (Asian Regional Committee) 委員會議，與亞太各國的氣象學者分享台灣追風計畫成果與經驗交流，另外亦與 JMA 及 MRI 多數學者討論 2008 年台灣與日本共同進行颱風飛機觀測實驗的事宜，一切規劃進展非常順利成功。圖 3.2 即為假想颱風位於東經 127 度、北緯 22 度時，台灣 DOTSTAR 與日本 TH08 共同執行颱風飛機觀

測的觀測路徑。

此外，主持人也受邀前往韓國延世(Yonsei)大學參與觀測研討會，會議中主要為討論 2008 年國際觀測實驗的合作事宜。今年 12 月 4-7 號，主持人亦將前往夏威夷參加 T-PARC 所舉辦的 2008 年觀測實驗的規劃會議。美國海軍正規劃進行 TCS-08 實驗(Tropical Cyclone Structure 2008)，將於 2008 年派遣美國海軍 P3 與空軍 C-130 飛機於西北太平洋共同參與 T-PARC 觀測實驗。目前也積極規劃如何針對位於台灣與日本琉球群島附近的颱風，進行同時有四架飛機（台灣的 Astra、日本的 Falcon 與美國的 P3、C130）的觀測實驗。我們將共同合力促成此臺、日、美的國際觀風觀測實驗，並期望這些觀測資料可以對國際颱風研究與預報能有所助益。追風計畫深受國際矚目，國外各主要颱風相關研究單位負責人的支持信函，如附錄 3.1-3.4 所示。

此委託計畫乃台灣地區颱風研究與民生福祉之重大議題。基於 GPS 投落送的潛在價值，為有效增加颱風周遭環境大氣資料之觀測，我們認為亟需針對有可能侵襲台灣的颱風進行 GPS 飛機觀測實驗之後續研究 (follow-up study)，以期取得及測試新資料；並透過模式探討對影響模式颱風路徑氣象因子的時空分佈，以形成有效率的機動觀測策略，配合學術界與中央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工作，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 (targeted 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之先驅實驗。此研究將整合國內學術界及中央氣象局相當人力，並與美國 NCEP、HRD、FNMOC 及日本 JMA/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。

此計畫亦規劃將國科會追風計畫研究第一期的研究成果與觀測技術逐漸移轉給中央氣象局，預期在學術界與氣象局的充分合作下，將讓學術界在颱風議題上位於世界研究的前端，而氣象局的付出與投入亦能回應社會大眾最迫切的需求。整體而言，投落送觀測實驗深受國際矚目。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。

THORPEX-PARC Experiments and Collaborating Efforts (from Dave Parsons)

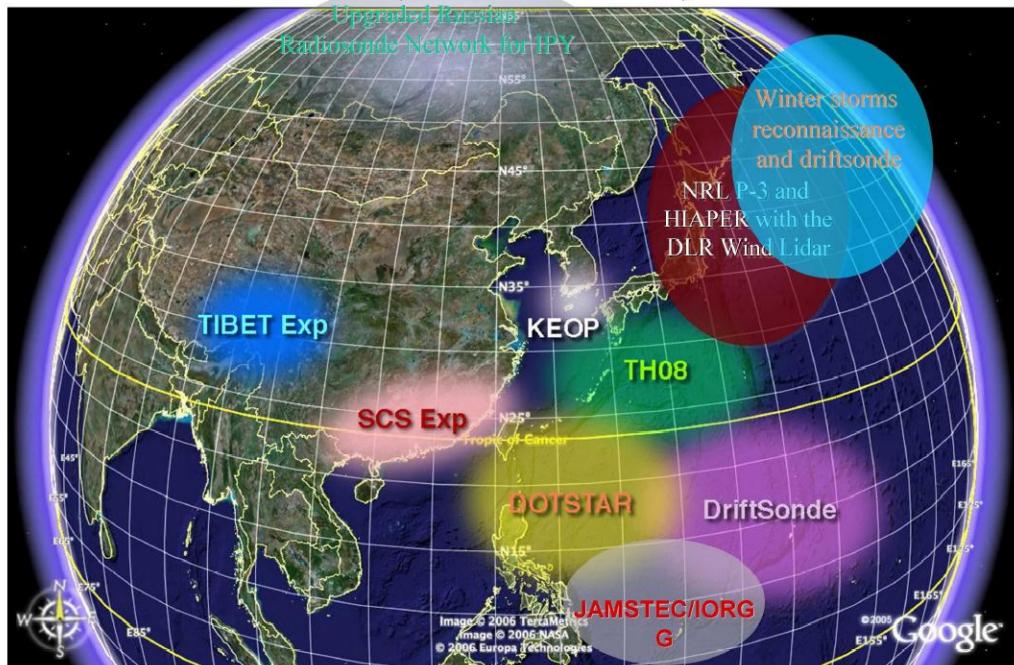


圖 3.1 THORPEX/PARC 於 2008 年所規劃之國際性大型觀測實驗計畫。(由 Dave Parsons 提供)

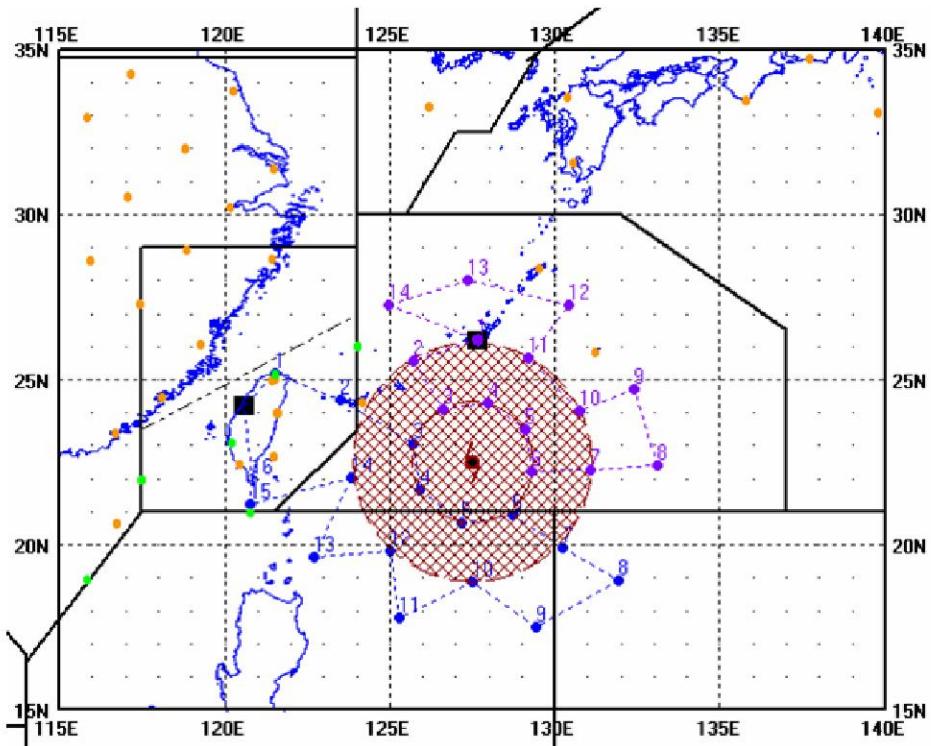
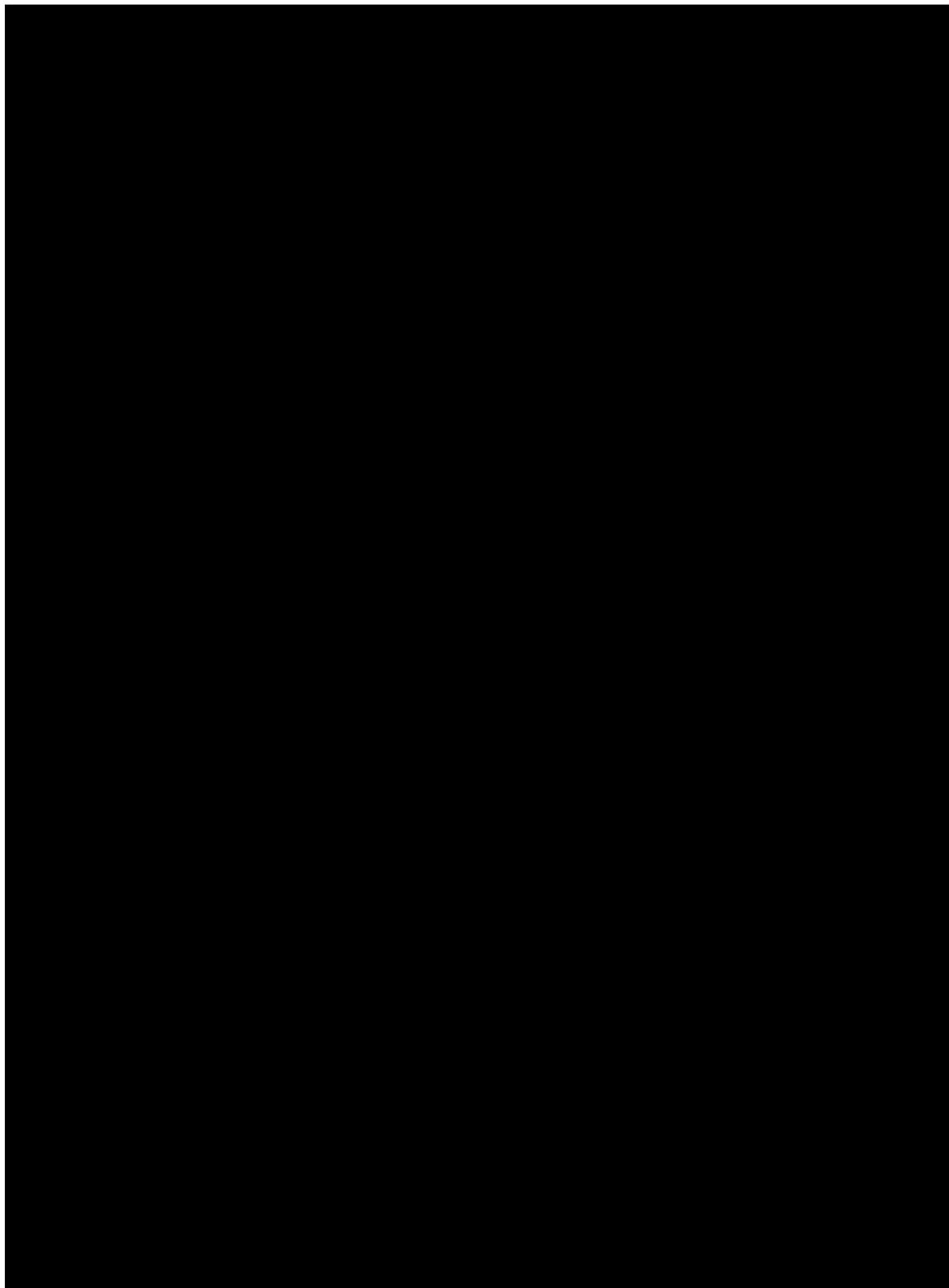


圖 3.2 2008 年台灣 DOTSTAR 與日本 TH08 計畫 and T-PARC 之假想颱風觀測(dry run)情形。藍色路徑為 DOTSTAR 之觀測路徑；紫色則為 TH08 之飛行路徑。

附件 3.1：世界氣象組織(WMO)所規劃「THORPEX 實驗」北美洲區域委員會主席：Dr. David Parsons (Senior Scientist, National Center for Atmospheric Research) 支持及與台灣之「追風計畫(DOTSTAR)」合作信函 (註: Dr. David Parsons 已被徵選為 WMO 所屬 World Weather Research Program, WWRP, 全職之首席科學家, Chief Scientist, 預計在 2008 年上任)



Professor Chun Chieh Wu

Page 2

18 September 2007

such as wind and water vapor lidar. To address such a fundamental question as the design of the future global observing system, we anticipate collaboration between scientists in Taiwan, Japan, Germany, France, the U.S. and Korea.

I hope that you agree to extend and enhance the DOTSTAR program.

Sincerely and best regards,



David Parsons

Senior Scientist

Co-chair, North American THORPEX Regional Committee

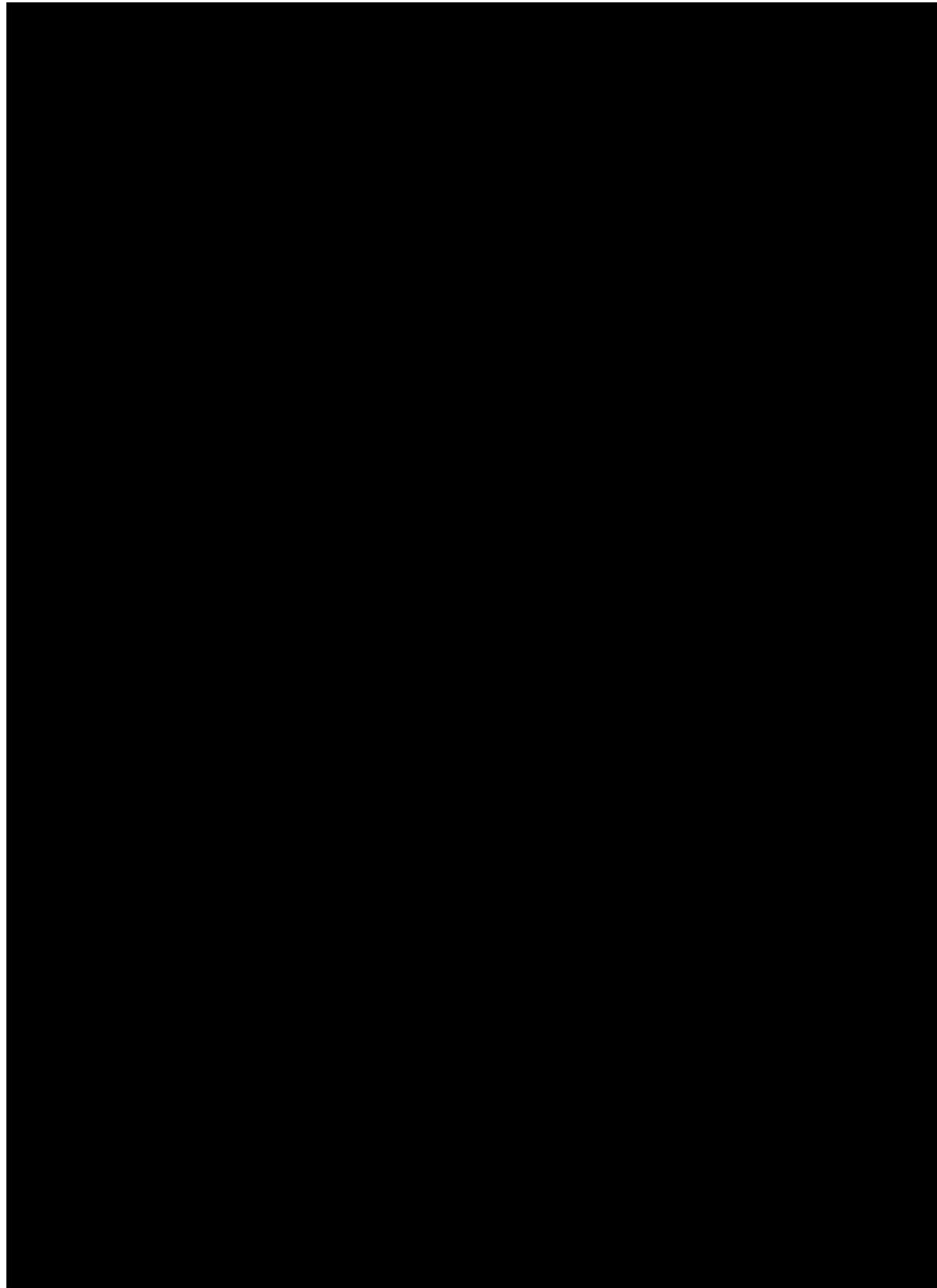
附件 3.2：世界氣象組織所規劃「THORPEX 實驗 2008 年亞洲觀測實驗 (T-PARC)」
亞洲區域委員會主席：Dr. Tetsuo Nakazawa (Director, Typhoon Department,
Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, Japan) 支持及與台
灣之「追風計畫(DOTSTAR)」合作信函



附件 3.3：美國海軍研究院海洋及氣象研究中心主任張偉正博士(Dr. Simon Chang)
支持信函及研究合作意願書



附件 3.4：美國國家颶風研究中心主任 Dr. Frank Marks 支持信函及研究合作意願書



四、觀測個案

本委託計畫今年度已經完成帕布、聖帕、韋帕及柯羅莎颱風等 4 颱風 4 架次的觀測，總共使用 22 個小時的飛行時數，並成功拋投 73 枚投落送。各飛機觀測任務的研究結果將分段列述如下：

1、 帕布颱風（Pabuk，2007/08/07/00UTC）

帕布颱風為今年西太平洋編號第 6 號的颱風，也是第一個侵襲台灣的颱風，氣象局於 8 月 6 日晚上 11 點半發布海上颱風警報，氣象局所分析的颱風路徑如圖 4.1 所示。飛機觀測執行的時間為針對 8 月 7 日 00 UTC（早上 8 時）的模式預報時間來進行觀測。ASTRA 飛機於 7 日清晨 5 點 40 起飛，於早上 11 點 27 分落地，飛行時間為 5.8 小時，成功拋投 15 枚投落送，觀測飛行路徑與拋投位置如圖 4.2 所示。另外，飛機飛行過程中所量測的機外溫度與風速則如圖 4.3 所示，此資料亦可提供作為解析颱風高層外流結構與環境風場的研判數據。圖 4.4 則為氣象局 QPESUMS 系統所顯示的颱風移動路徑及颱風對流分佈情形，此資訊對於研究團隊在觀測過程中提供相當重要的飛行資訊。

觀測過程中，GPS 投落送的量測結果已即時透過衛星電話傳送至氣象局，並正確顯示於 WINS 系統中，圖 4.5、4.6 所表示的即為投落送量測的 925、250 hPa 在 WINS 所顯示的風場分佈。另外，台大研究團隊針對帕布颱風所分析的地面風場則如圖 4.7 所示。從這些風場分析得知，帕布颱風的強度並不強，結構不紮實也不對稱，近中心不到 100 公里處的風速僅有 15-20 m/s 左右。風速較強的區域為颱風東側及北側，地面風速介於 10-15 m/s，而颱風南側的風速明顯較低，地表風速不到 5 m/s。

2、 聖帕颱風（Sepat，2007/08/16/00UTC）

聖帕颱風為今年西太平洋編號第 8 號的颱風，氣象局於 8 月 16 日上午發布海上颱風警報，氣象局所分析的颱風路徑如圖 4.8 所示。飛機觀測執行的時間為針對 8 月 16 日 00 UTC（早上 8 時）的模式預報時間來進行觀測。ASTRA 飛機於 16 日清晨 5 點 5 分起飛，於早上 10 點 40 分落地，飛行時間為 5 小時 35 分，成功拋投 20 枚投落送，觀測飛行路徑、拋投位置與分析的地表面風場如圖 4.9 所示。另外，飛機飛行過程中所量測的機外溫度與風速則如圖 4.10 所示，此資料亦可提供作為解析颱風高層外流結構與環境風場的研判數據。圖 4.11 則為氣象

局 QPESUMS 系統所顯示的飛機觀測路徑、颱風移動路徑及衛星雲圖分佈情形，此資訊對於研究團隊在觀測過程中提供相當重要的飛航資訊。

觀測過程中，GPS 投落送的量測結果已即時透過衛星電話傳送至氣象局，並正確顯示於 WINS 系統中，圖 4.12、4.13 所表示的即為投落送量測的 925、250 hPa 在 WINS 所顯示的風場分佈。從投落送量測風場分析得知，聖帕颱風的外圍環流相當強，且呈現颱風東南側較強、西北側較弱的不對稱結構，離中心 250 公里處的地面風速可達 15 m/s 以上。

3、韋帕颱風（Wipha，2007/09/17/12UTC）

韋帕颱風為今年西太平洋編號第 12 號的颱風，氣象局於 9 月 17 日中午發布海上颱風警報，氣象局所分析的颱風路徑如圖 4.14 所示。飛機觀測執行的時間為針對 9 月 17 日 12 UTC（晚上 8 時）的模式預報時間來進行觀測。ASTRA 飛機於 17 日下午 5 點 5 分起飛，於晚上 10 點 21 分落地，飛行時間為 5 小時 13 分，成功拋投 16 枚投落送，觀測飛行路徑、拋投位置與分析的地面上風場如圖 4.15 所示。另外，飛機飛行過程中所量測的機外溫度與風速則如圖 4.16 所示，此資料亦可提供作為解析颱風高層外流結構與環境風場的研判數據。圖 4.17 則為氣象局 QPESUMS 系統所顯示的飛機觀測路徑、颱風移動路徑及衛星雲圖分佈情形，此資訊對於研究團隊在觀測過程中提供相當重要的飛航資訊。

觀測過程中，GPS 投落送的量測結果已即時透過衛星電話傳送至氣象局，並正確顯示於 WINS 系統中，圖 4.18、4.19 所表示的即為投落送量測的 925、300 hPa 在 WINS 所顯示的風場分佈。從投落送量測風場分析得知，韋帕颱風的外圍環流並不弱，且呈現颱風東北側較強、西南側較弱的不對稱結構。離中心 200 公里處的地面上風速可達 15 m/s 以上，而距離中心 400 公里左右的地面上風速也遠超過 10 m/s。

4、柯羅莎颱風（Krosa，2007/10/04/12UTC）

柯羅莎颱風為今年西太平洋編號第 14 號的颱風，氣象局於 10 月 4 日早上 5 點半發布海上颱風警報，氣象局所分析的颱風路徑如圖 4.20 所示。飛機觀測執行的時間為針對 10 月 4 日 12 UTC（晚上 8 時）的模式預報時間來進行觀測。ASTRA 飛機於 4 日下午 4 點 20 分起飛，於晚上 9 點 40 分落地，飛行時間為 5 小時 20 分，成功拋投 19 枚投落送，觀測飛行路徑、拋投位置與分析的地面上風場

如圖 4.21 所示。另外，飛機飛行過程中所量測的機外溫度與風速則如圖 4.22 所示，此資料亦可提供作為解析颱風高層外流結構與環境風場的研判數據。圖 4.23 則為氣象局 QPESUMS 系統所顯示的飛機觀測路徑、颱風移動路徑及衛星雲圖分佈情形，此資訊對於研究團隊在觀測過程中提供相當重要的飛航資訊。

觀測過程中，GPS 投落送的量測結果已即時透過衛星電話傳送至氣象局，並正確顯示於 WINS 系統中，圖 4.24、4.25 所表示的即為投落送量測的 925、250 hPa 在 WINS 所顯示的風場分佈。從投落送量測風場分析得知，柯羅莎颱風的外圍環流相當強，各個象限所量到的風速也呈現較對稱的分佈特徵。離中心 250 公里處的地面風速可達 18 m/s 以上，而距離中心 400 公里左右的地面風速也達 15 m/s 以上。

圖 4.

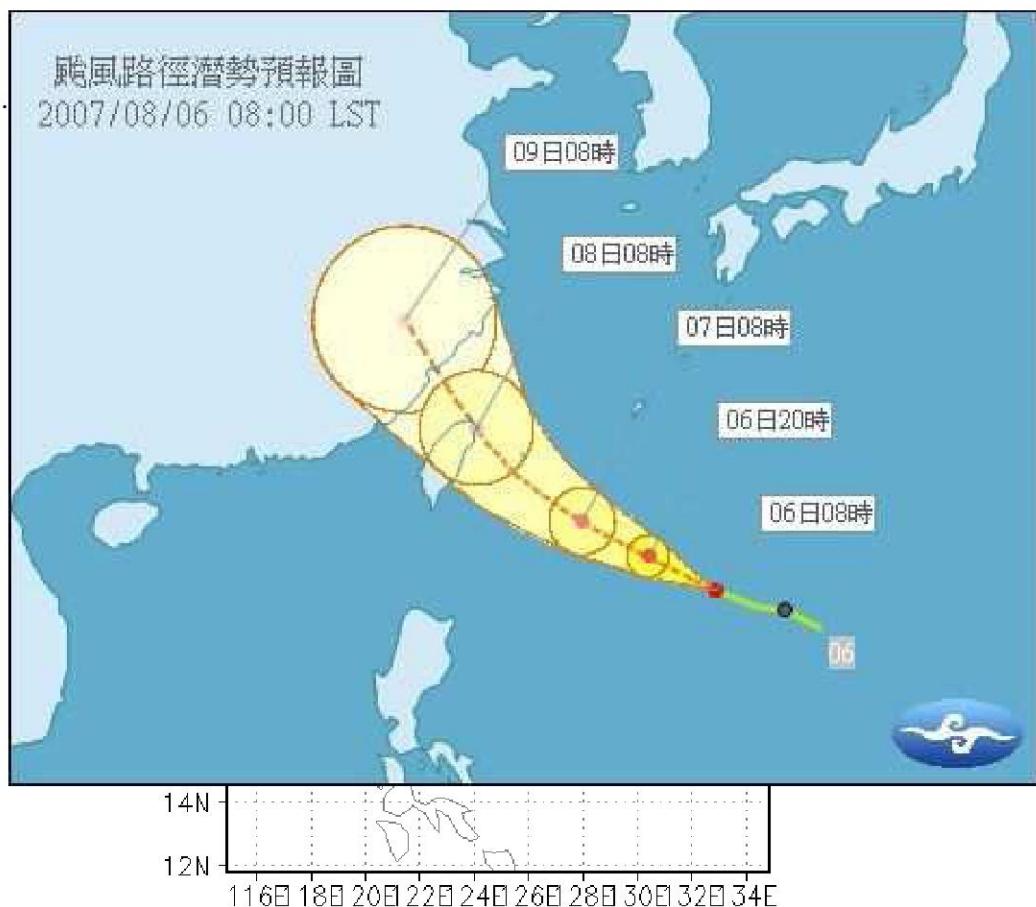


圖 4.2：帕布颱風飛機觀測飛行路徑及 16 枚投落送拋投順序與位置。

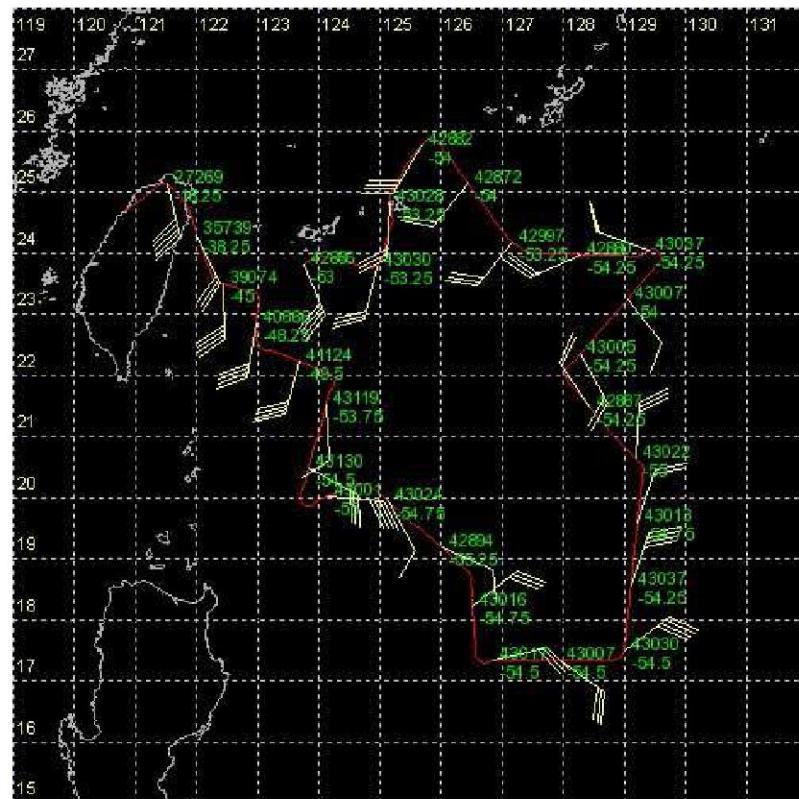


圖 4.3：帕布颱風飛機觀測之飛行軌跡及飛機高度 (feet)、機外溫度 ($^{\circ}\text{C}$) 與風場 (m/s)。

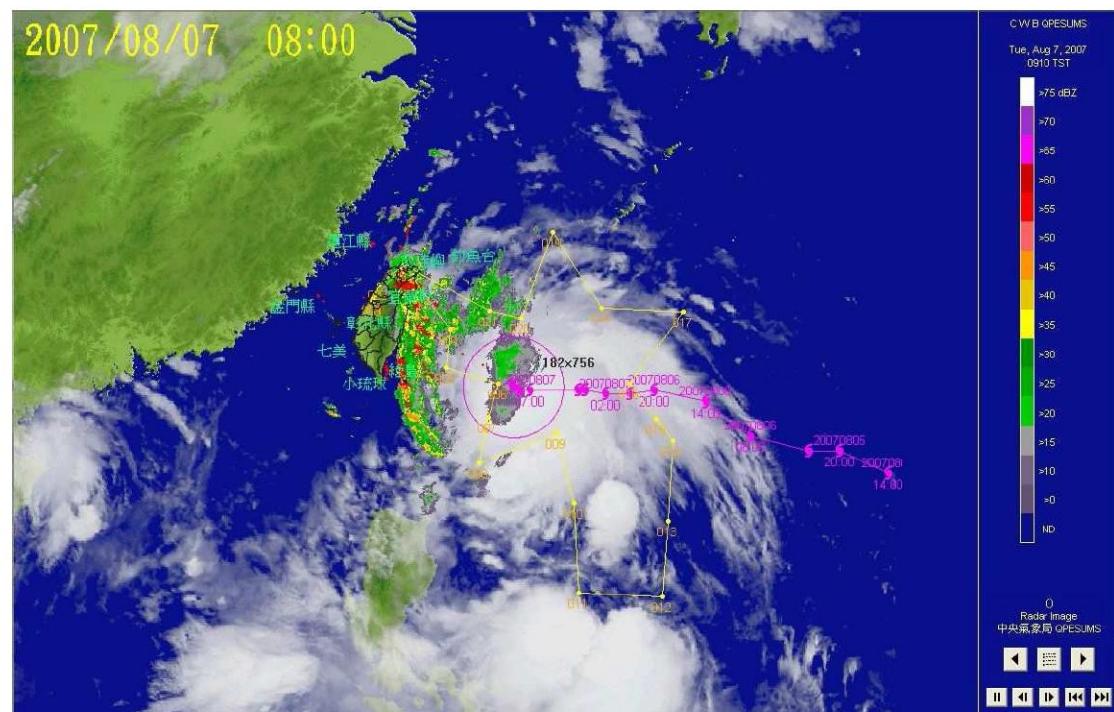


圖 4.4：氣象局 QPESUMS 系統於 8 月 7 日 00Z 即時顯示之颱風路徑、衛星雲圖、雷達回波資訊。

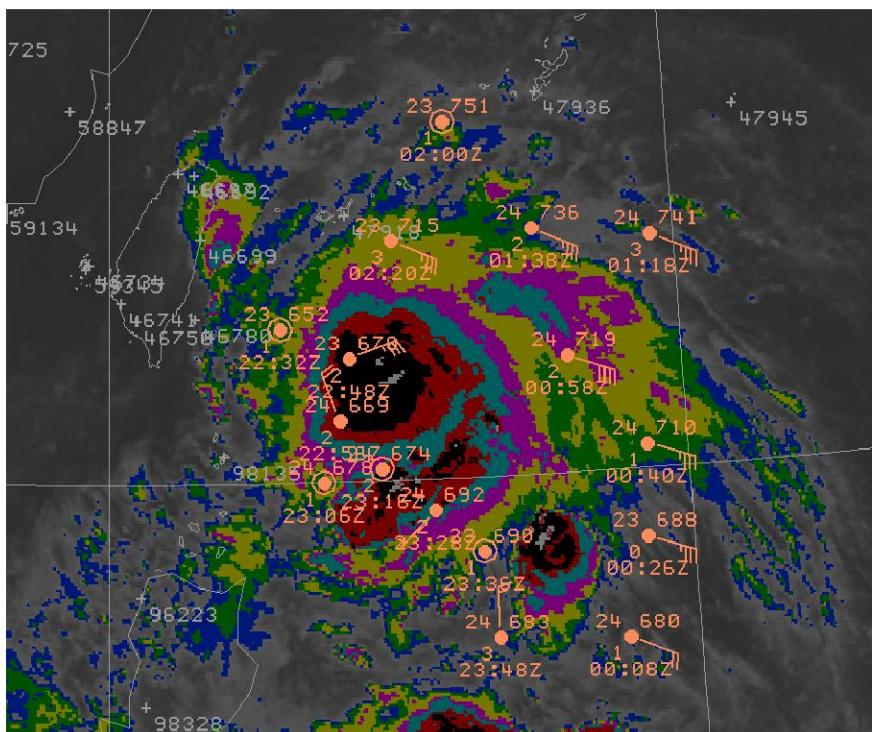


圖 4.5：氣象局 WINS 系統所顯示帕布颱風 925 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。

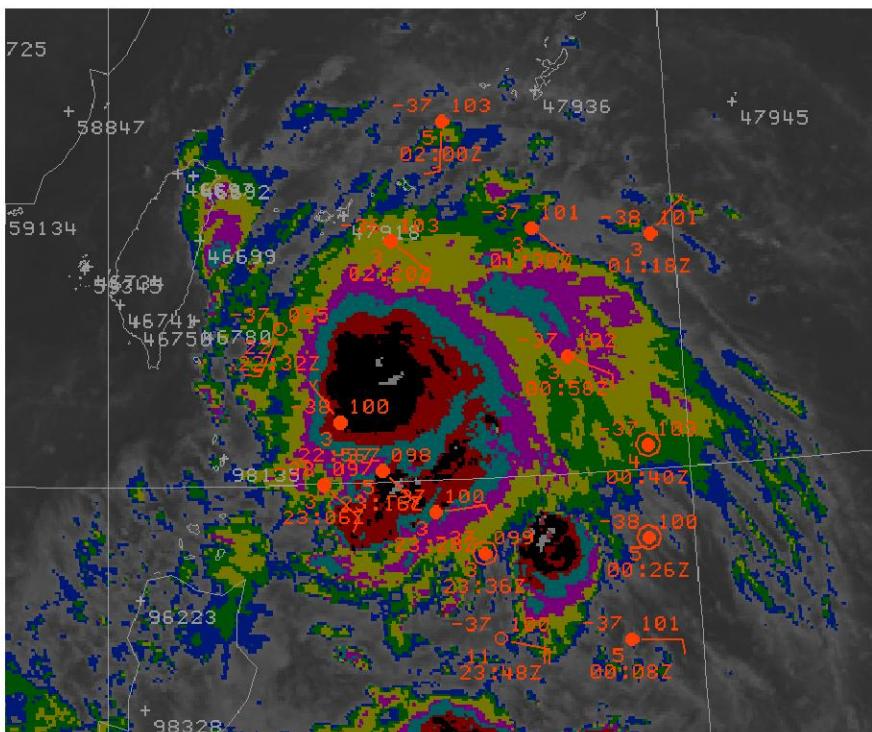


圖 4.6：氣象局 WINS 系統所顯示帕布颱風 250 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。

Unit: m/s

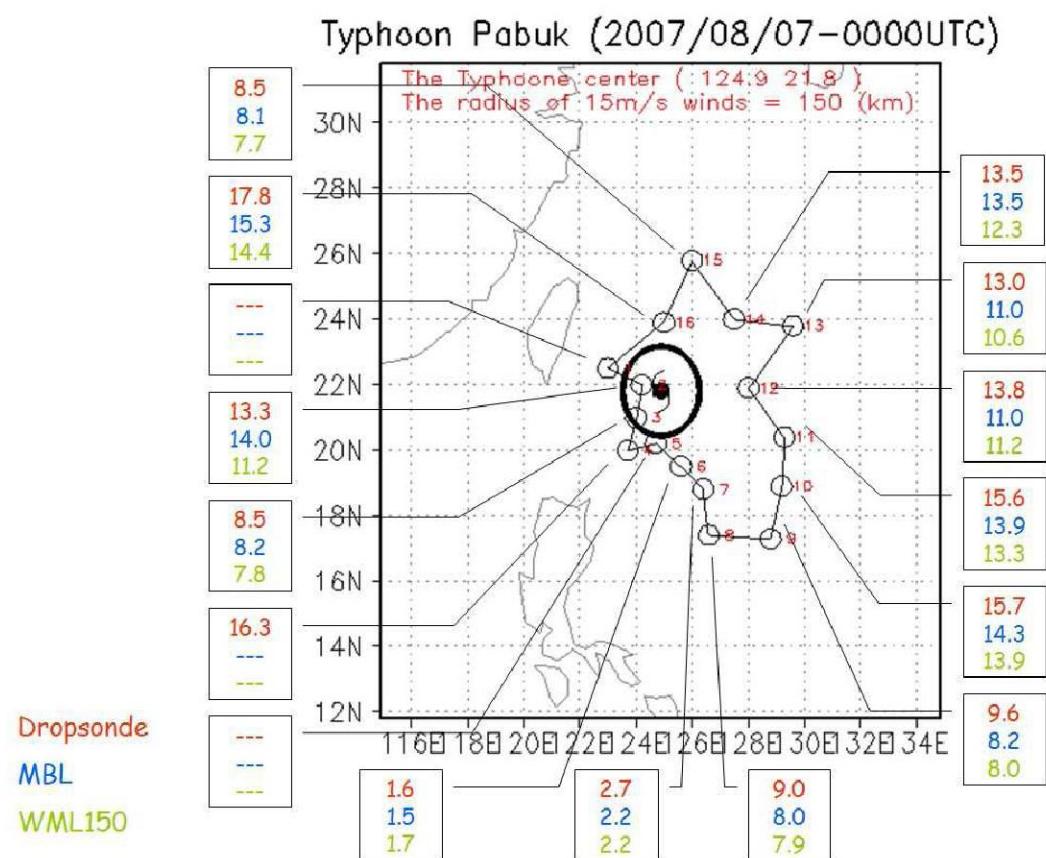
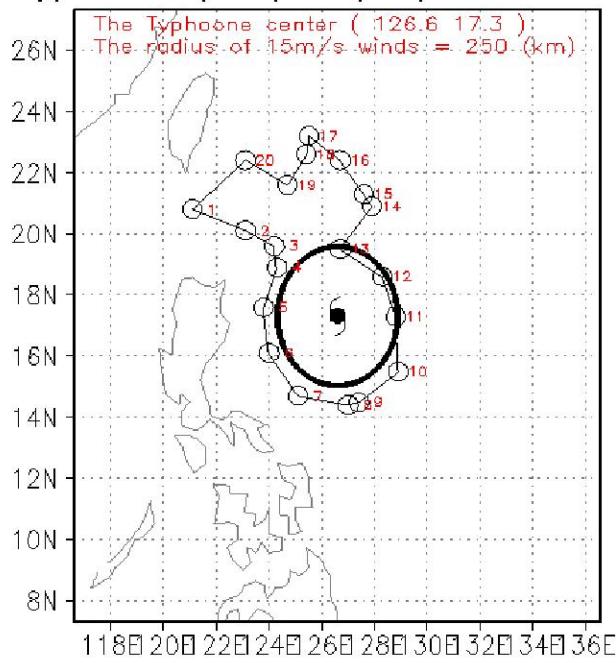


圖 4.7：台大研究團隊根據高垂直解析度的投落送資料所分析之地面風場，單位 m/s。



圖 4.8：氣象局於 8 月 16 日 00Z 所發佈之聖帕颱風移動路徑。

Typhoon Sepat (2007/08/16-0000UTC)



NO.	SURF	MBL	WML150	DIST
1	7.70	8.18	8.33	696
2	---	---	---	482
3	13.90	11.87	11.22	380
4	15.80	12.25	12.18	301
5	14.00	12.09	12.17	299
6	20.60	17.39	16.63	307
7	19.30	18.63	15.70	330
8	27.80	22.44	22.18	325
9	---	21.04	---	323
10	15.80	17.10	15.12	316
11	18.00	17.13	15.35	233
12	19.50	19.18	17.81	231
13	18.30	15.10	15.08	245
14	13.40	11.48	11.55	423
15	10.80	10.10	9.75	457
16	10.50	8.34	8.30	587
17	9.30	9.28	8.34	688
18	8.60	8.92	7.48	802
19	9.00	9.33	8.19	518
20	11.70	10.01	9.80	675

圖 4.9：聖帕颱風飛機觀測飛行路徑及 20 枚投落送拋投順序、位置與高垂直解析度的投落送資料所分析之地面風場，單位 m/s。

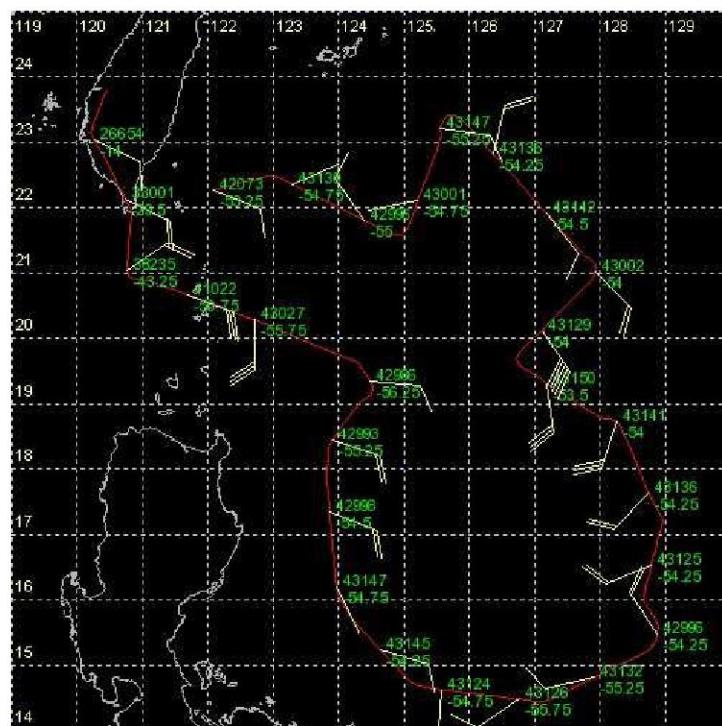


圖 4.10：聖帕颱風飛機觀測之飛行軌跡及飛機高度 (feet)、機外溫度 (°C) 與風場 (m/s)。

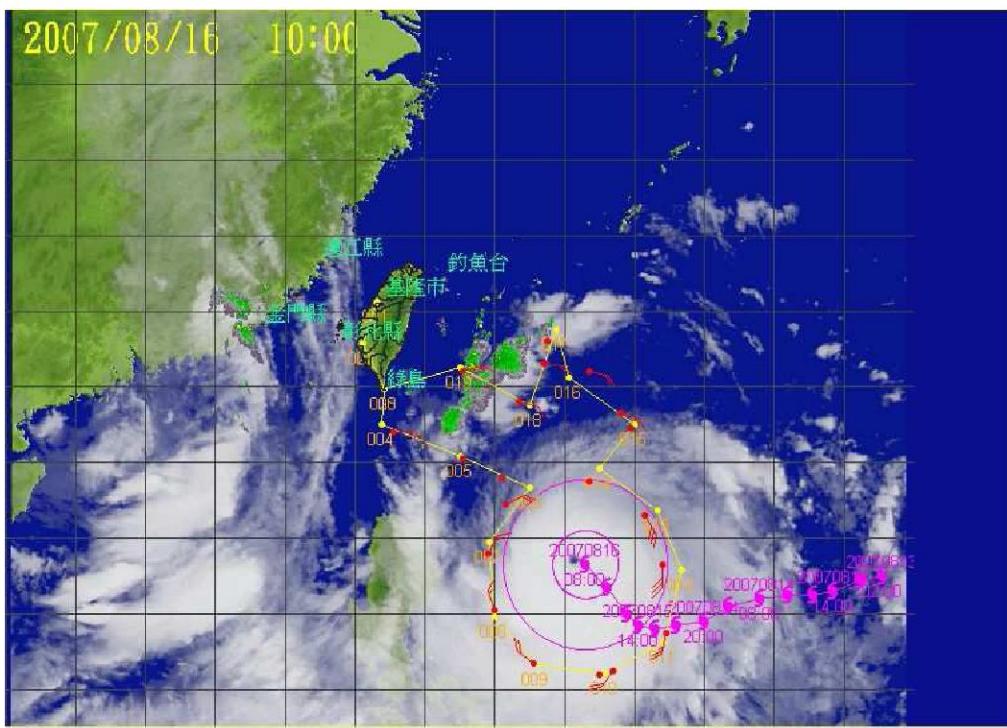


圖 4.11：氣象局 QPESUMS 系統於 8 月 16 日 02Z 即時顯示之颱風路徑、衛星雲圖、雷達回波資訊。

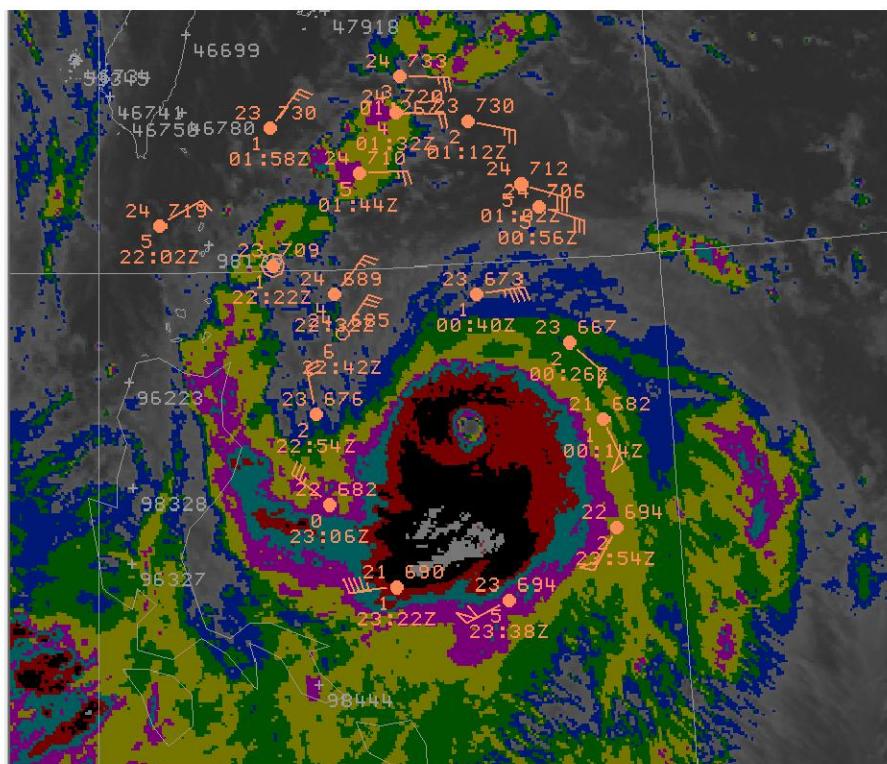


圖 4.12：氣象局 WINS 系統所顯示聖帕颱風 925 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。

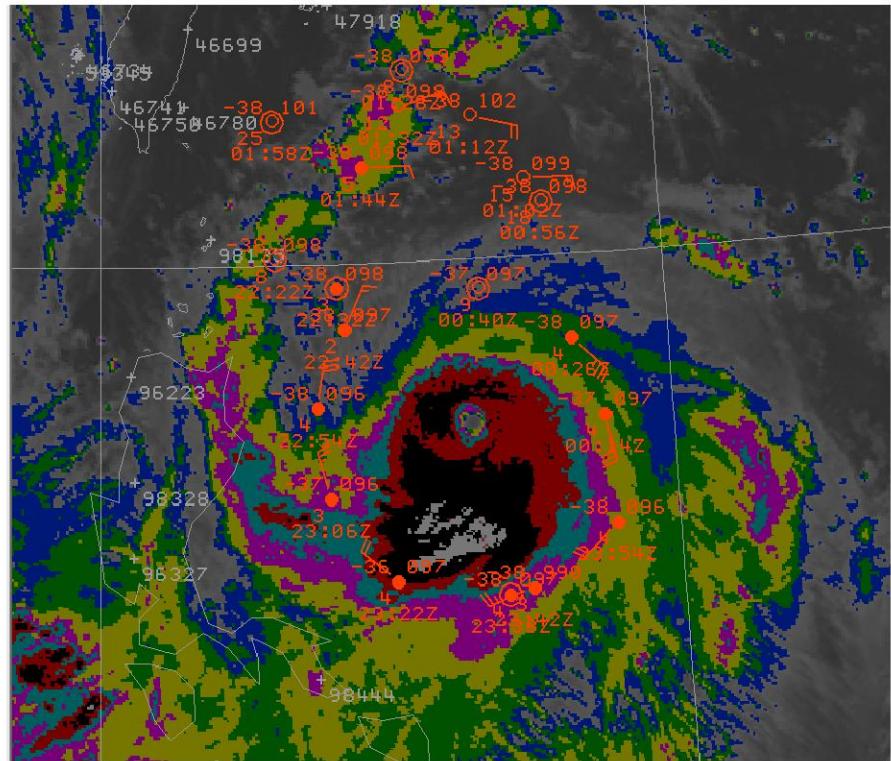


圖 4.13：氣象局 WINS 系統所顯示聖帕颱風 250 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。



圖 4.14：氣象局於 9 月 17 日 00Z 所發佈之韋帕颱風移動路徑。

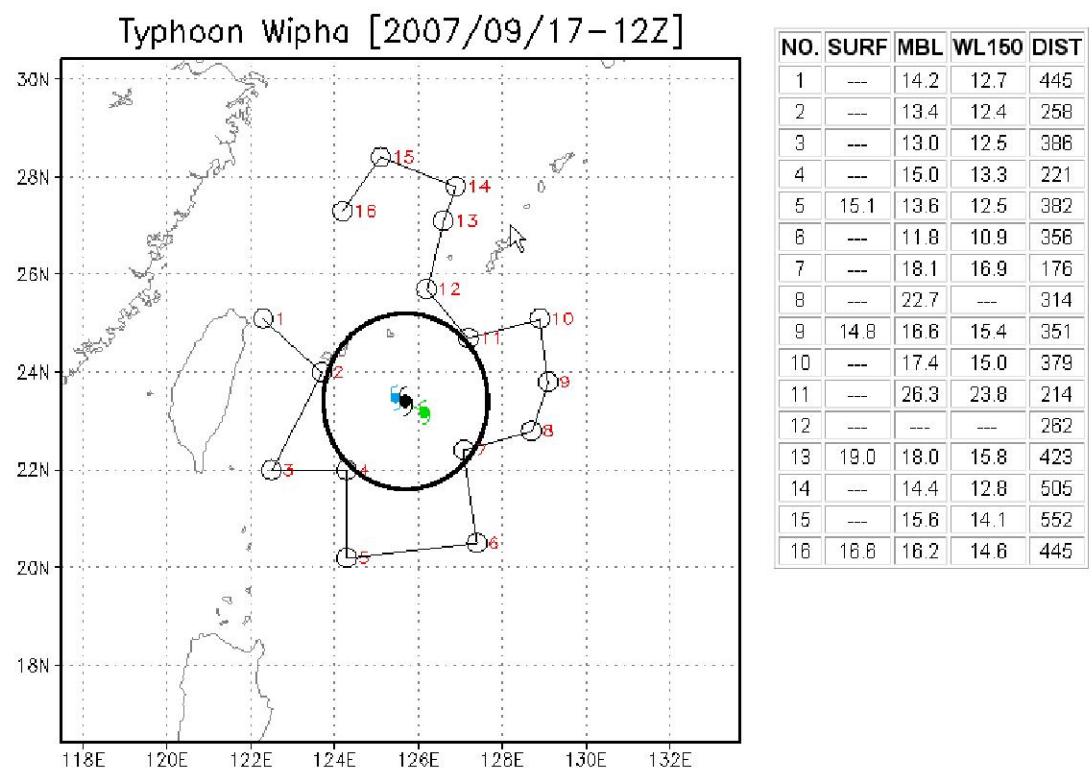


圖 4.15：韋帕颱風飛機觀測飛行路徑及 16 枚投落送拋投順序、位置與高垂直解
析度的投落送資料所分析之地面風場，單位 m/s。

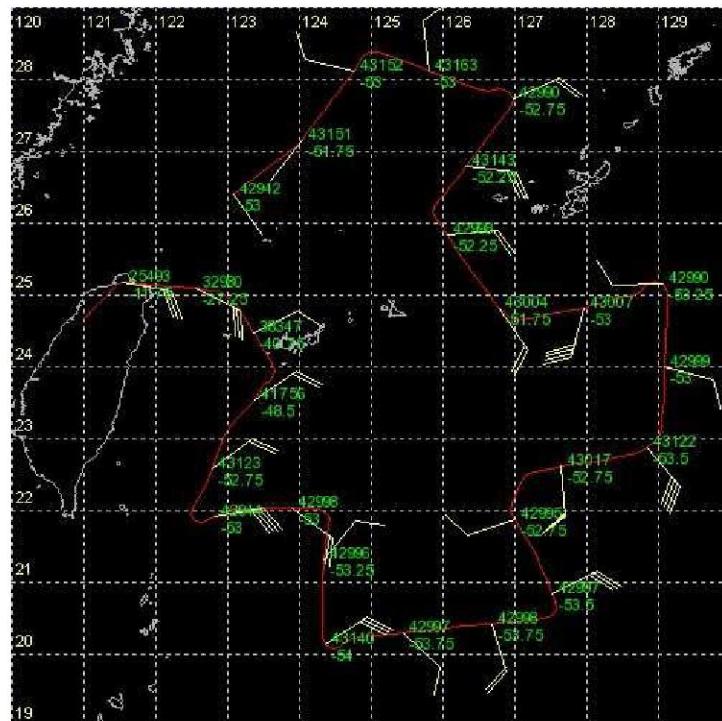


圖 4.16：韋帕颱風飛機觀測之飛行軌跡及飛機高度 (feet)、機外溫度 (°C) 與風
場 (m/s)。

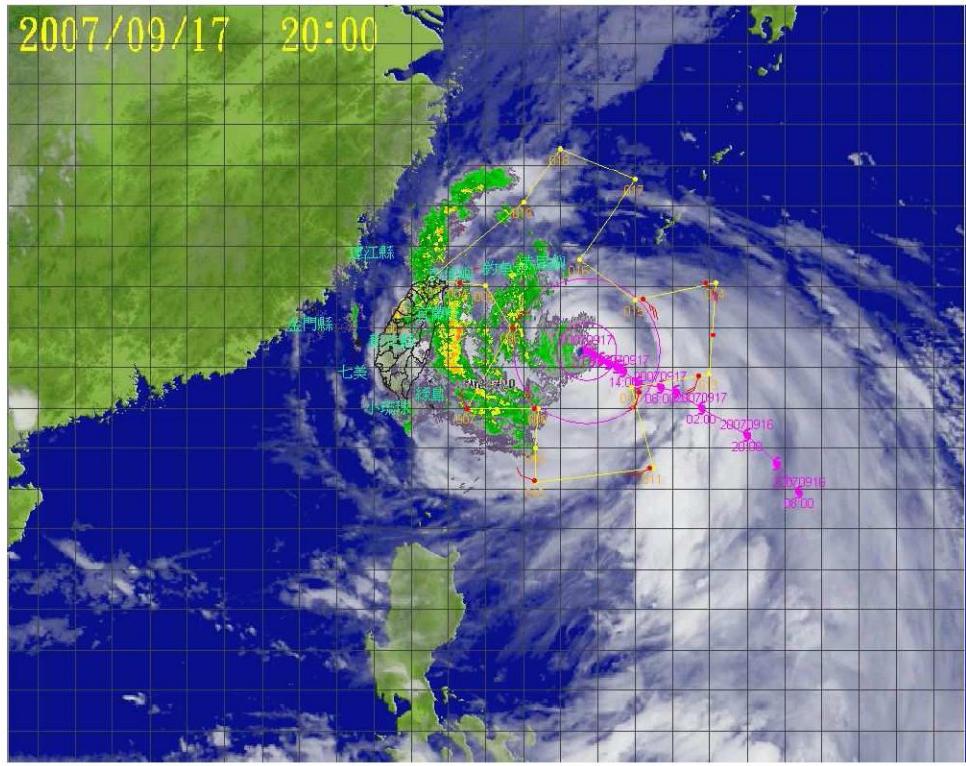


圖 4.17：氣象局 QPESUMS 系統於 9 月 17 日 12Z 即時顯示之颱風路徑、衛星雲圖、雷達回波資訊。

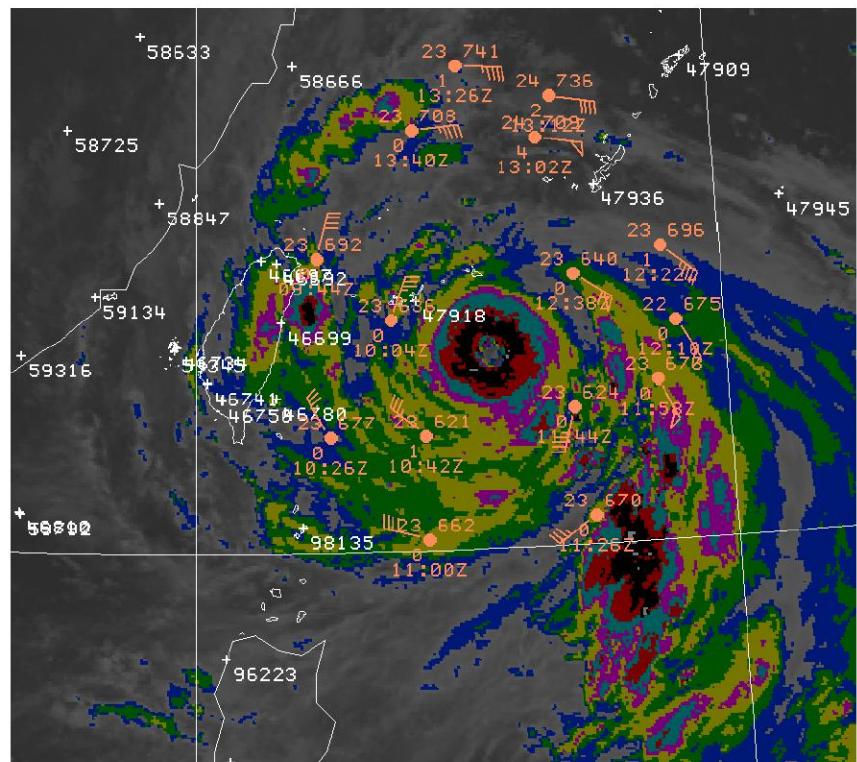


圖 4.18：氣象局 WINS 系統所顯示韋帕颱風 925 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。

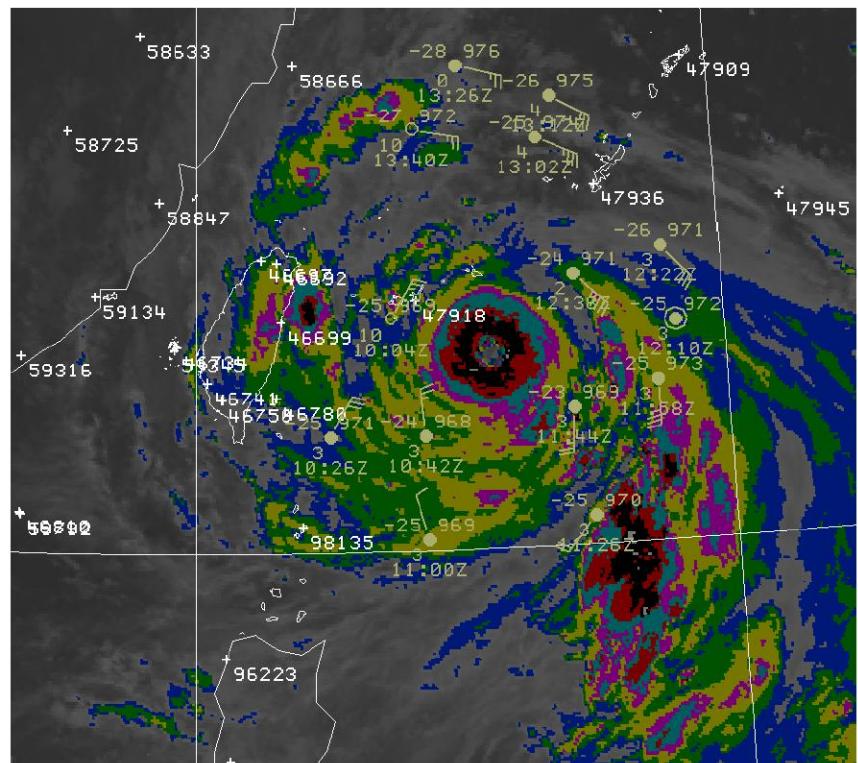


圖 4.19：氣象局 WINS 系統所顯示韋帕颱風 300 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。

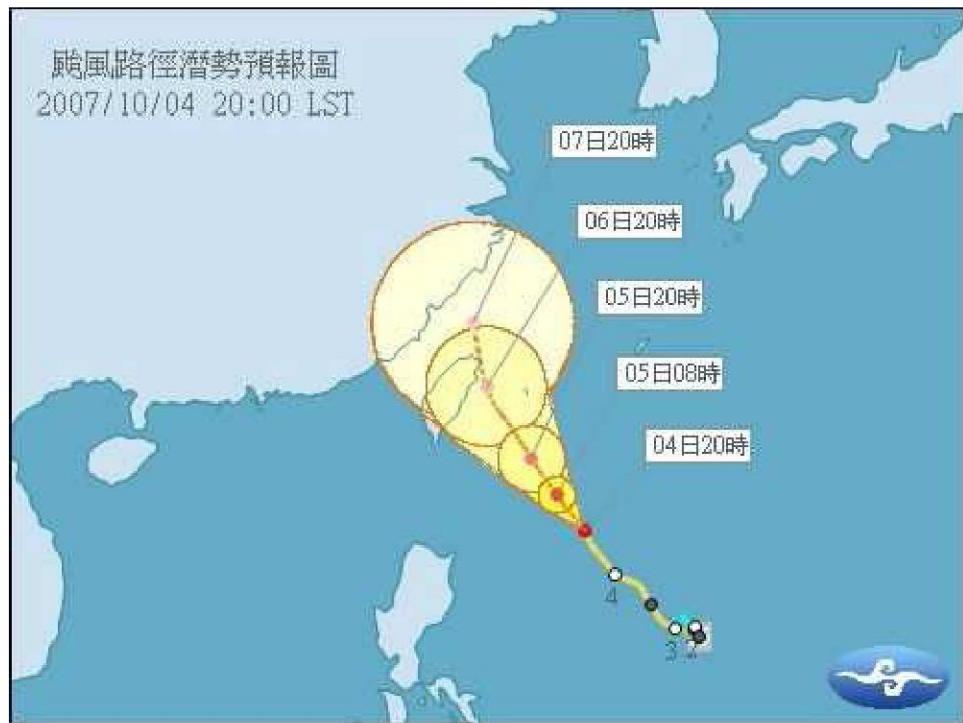


圖 4.20：氣象局於 10 月 4 日 12Z 所發佈之柯羅莎颱風移動路徑。

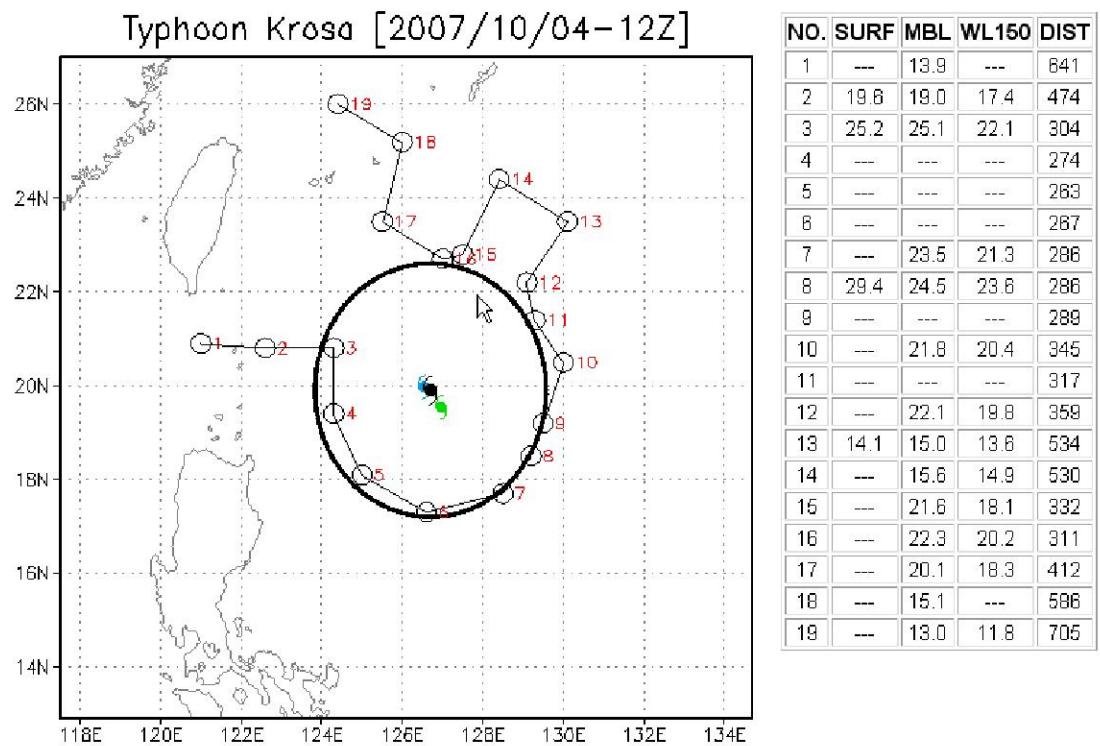


圖 4.21：柯羅莎颱風飛機觀測飛行路徑及 19 枚投落送拋投順序、位置與高垂直
解析度的投落送資料所分析之地面風場，單位 m/s。

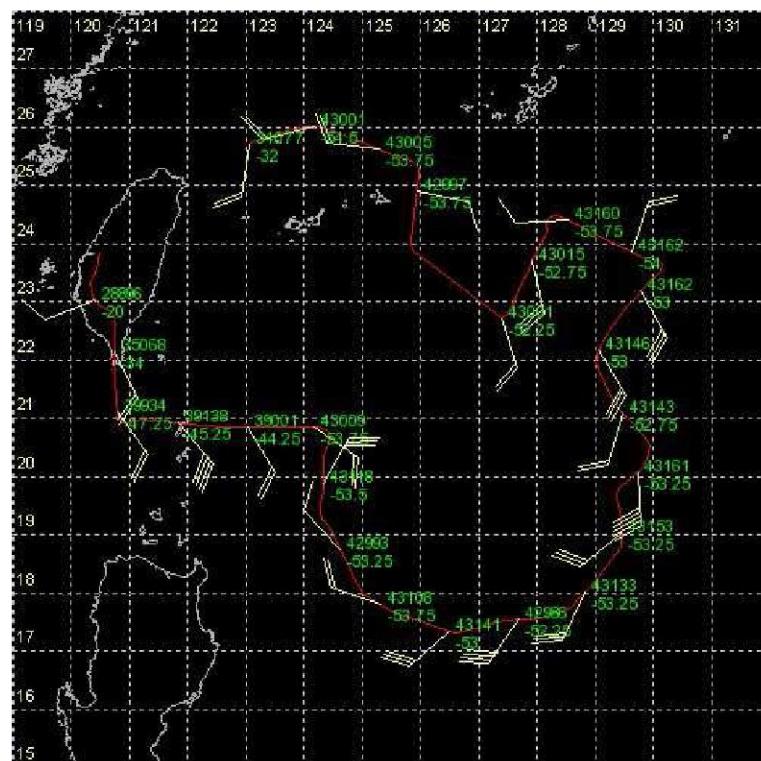


圖 4.22：柯羅莎颱風飛機觀測之飛行軌跡及飛機高度 (feet)、機外溫度 (°C) 與
風場 (m/s)。

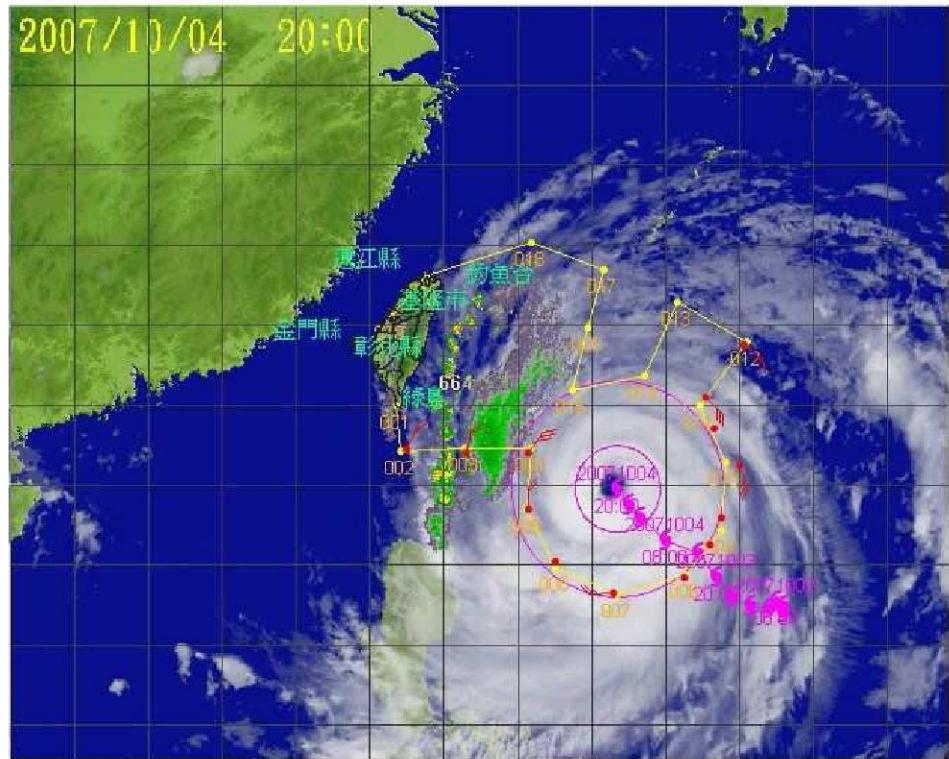


圖 4.23：氣象局 QPESUMS 系統於 10 月 4 日 12Z 即時顯示之颱風路徑、衛星雲圖、雷達回波資訊。

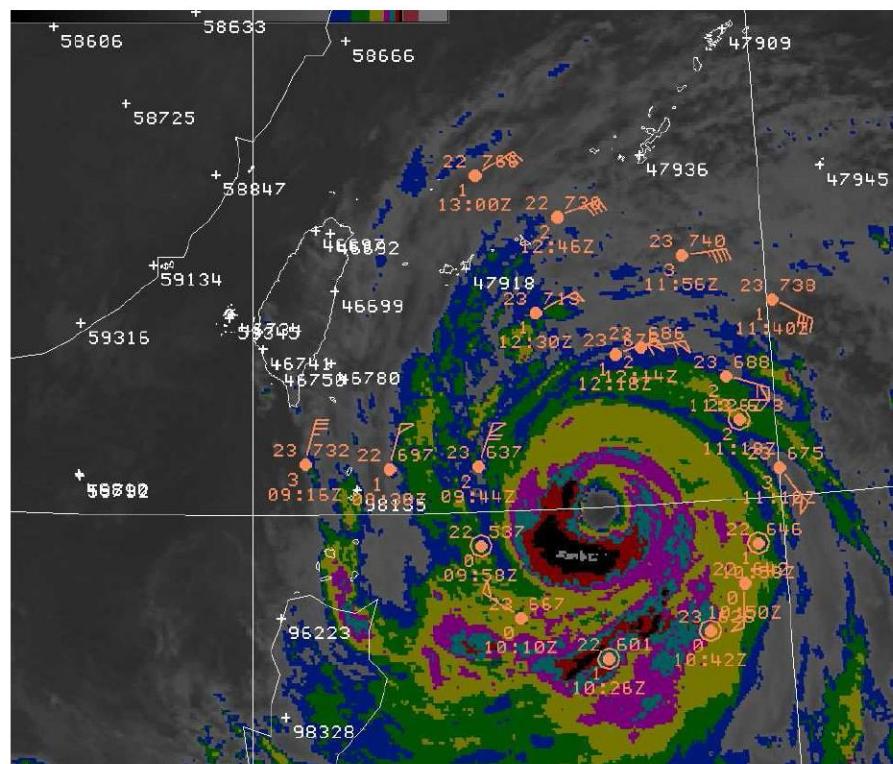


圖 4.24：氣象局 WINS 系統所顯示柯羅莎颱風 925 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。

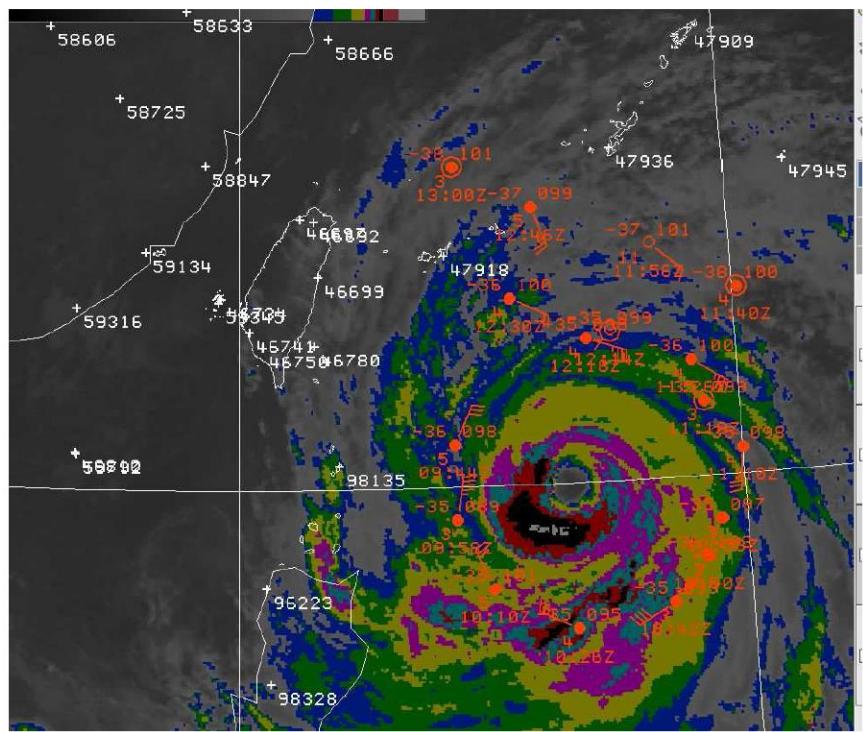


圖 4.25：氣象局 WINS 系統所顯示柯羅莎颱風 250 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。

五、投落送資料模式影響評估研究

「追風計畫」與中央氣象局（CWB）、美國海軍、美國海洋大氣總署的颶風研究中心、及日本氣象廳（JMA）等作業單位有密切合作關係，因此針對所進行觀測的颶風個案可獲得其作業上的全球模式（包括 NCEP GFS、NOGAPS、JMA GSM 及 CWB GFS）以及區域模式（包括 GFDL、CWB NFS 颱風預報系統）有無同化投落送資料的模式預報結果；此外，我們亦額外使用研究上廣泛使用的 MM5 及 WRF 模式進行投落送資料的影響評估工作。

追風計畫在過去三年的模式影響評估研究中，是依據 NCEP GFS、NOGAPS、JMA GSM、GFDL 與 WRF 模式進行評估（CWB 模式之成果評估目前由其他相關研究人員進行中）。其中 NCEP 及 NOGAPS 及 JMA 全球模式具有本身獨立之同化系統，可以將觀測資料同化至模式初始場中。以 NCEP GFS 為例，即透過 GDAS（Global Data Assimilation System）系統將全球觀測資料同化至模式中。另外，本研究中 GFDL 與 WRF 模式的初始條件及邊界條件，是使用 NCEP GFS 模式的預報資料。此外，所有模式除了 NCEP GFS、WRF 模式之外，其他模式均進行渦旋植入（bogusing）的程序，藉以於初始場中呈現較適當之渦旋結構。

至於在今年度的帕布颶風觀測個案中，目前已經進行投落送資料影響評估的模式只有 CWB NFS 與 JMA GSM 模式，其他 NCEP GFS、NOGAPS、GFDL 與 WRF 等模式則仍在進行中。各數值模式介紹與初步評估結果將分段列述如下：

1. JMA GSM 全球模式

JMA GSM 模式為日本氣象廳作業單位從 1998 年使用至今的全球模式，目前每 6 小時進行一次作業預報。模式為 T213 的波譜模式，相當於水平方向約 60 公里的解析度，而垂直方向從地表至模式頂層 0.4 hPa 共有 40 層不等間距的 sigma 座標分層。在觀測資料處理方面，JMA 使用 3DVAR 系統來進行每天四次的資料同化循環來同化觀測資料。模式的分析場中亦進行渦旋植入程序處理，即由經驗公式根據觀測參數決定颶風的氣壓場、溫度場、風場於模式初始場的分佈情形。

在今年度的四次飛機觀測中的個案，除了帕布颶風因為美國 NCEP 資料接收伺服器 IP 更換，造成投落送資料無法傳送到各國作業單位外，其他三個颶風觀測個案，JMA 均在觀測完隔日提供給台大研究團隊其 GSM 模式的作業預報路徑

與移除投落送資料的模擬路徑。圖 5.1 顯示的為 JMA GSM 針對聖帕颱風所進行的有無投落送資料實驗的路徑結果。可以發現整體而言，不論是有或無投落送資料的模擬，GSM 模式對於聖帕颱風的掌握相當理想，兩實驗在前 72 小時的預報路徑誤差均少於 100 公里，登陸地點的位置也與觀測十分接近，但時間略微提前 6 個小時。至於投落送資料對於路徑的改進上，儘管兩實驗的路徑差異不大，有投落送資料的路徑前 24 小時的路徑誤差均少於無投落送實驗的路徑誤差，而 24 至 72 小時的路徑誤差則各有消長。根據兩實驗在前 72 小時的路徑誤差計算結果顯示，有投落送實驗的平均路徑誤差為 52 公里，比無投落送實驗的平均路徑誤差（65 公里）減少 13 公里，亦即約有 20% 的平均路徑改進率。另外值得注意的是，有投落送資料所預測登陸地點比較接近實際的颱風登陸位置。

至於 JMA GSM 在韋帕颱風的路徑模擬上則如圖 5.2 所示。可以發現不論是有或無投落送資料的模擬，GSM 模式對於韋帕颱風的掌握並不理想，36 小時以後的路徑誤差已達 200 公里以上。若比較兩實驗路徑的差異，可以發現除了在無投落送實驗第 24 小時的路徑位置明顯較有投落送實驗理想外，其他各個預報時間點的路徑誤差相差不大。根據兩實驗在前 42 小時的路徑誤差計算結果顯示，有投落送實驗的平均路徑誤差為 124 公里，比無投落送實驗的平均路徑誤差（113 公里）增加 11 公里，亦即約有 -9% 的平均路徑改進率。

至於投落送資料在柯羅莎颱風的路徑模擬的影響上，如圖 5.3 所示。可以發現 GSM 模式對於柯羅莎颱風前 36 小時的模擬相當理想，但之後的模擬中，模式的颱風路徑呈現明顯往北移動的趨勢，明顯與實際颱風往西北方向移動有所出入，因而造成後期的路徑誤差明顯增加。若比較投落送資料對於路徑的改進上，可以發現有投落送實驗在前 12 小時掌握與實際颱風移動較一致的往西分量，颱風移動速度也略慢，因而造成前 36 小時的路徑誤差遠低於無投落送實驗的結果。然而模擬後期由於兩實驗同樣出現往北的路徑偏轉，且有投落送實驗移動較慢的緣故，導致颱風路徑提前偏轉，造成 36 小時之後的路徑誤差遠大於無投落送資料的路徑誤差。根據兩實驗在前 72 小時的路徑誤差計算結果顯示，有投落送實驗的平均路徑誤差為 110 公里，比無投落送實驗的平均路徑誤差（119 公里）減少 9 公里，亦即約有 7% 的平均路徑改進率。

整體而言，投落送資料在 JMA GSM 模式針對 2007 年 3 個觀測個案的影響

情形可由圖 5.4 得知。可以發現在前 36 小時的模擬中，投落送資料對於模式路徑模擬的影響相當明顯，每個預報時間點大約都可以減少 20 公里左右，平均而言相當於 30% 的路徑誤差改進率。但在 36 小時之後的模擬中，投落送的影響則呈現負面作用，路徑誤差會增加 10-15 公里左右，平均而言相當於 -12% 的路徑誤差改進率，這主要是因為 GSM 模式中柯羅莎颱風出現錯誤往北的偏轉所導致。儘管投落送資料在 GSM 模式後期的路徑預報上並不理想，但由於前期的模擬具有較大的路徑改善率，因此前 72 小時的平均路徑誤差改進率仍有 9%，所以投落送資料對於 2007 年 GSM 模式在颱風路徑的改進上仍有相當正面的影響。

2. CWB NFS 區域模式（由氣象局陳德松提供）

氣象局 NFS (Nonhydrostatic forecast system) 非靜力預報系統為三層巢狀網格之區域模式，水平解析度最外層為 45 公里，中層為 15 公里，最內層 5 公里，垂直層為 σ 座標共有 30 層。於進行投落送資料同化模擬時除初始及邊界條件由 GFS 來外，另外再利用最佳內插法(optimum interpolation, OI)進行一次投落送資料的同化。

目前 NFS 模式已完成今年度四個颱風投落送資料影響的評估工作。NFS 模式本身是使用 OI 來進行渦旋初始化及同化投落送資料的動作。首先以帕布颱風的結果來說，投落送資料對於模式颱風路徑影響評估結果如圖 5.5 所示，圖中的模擬路徑為解析度 45 公里有進行渦旋植入的模擬結果。從圖中可以發現，在帕布颱風前 24 小時的模擬中，有投落送資料的實驗可以在初期掌握颱風往西移動的趨勢，因此，有投落送資料的模擬路徑比較接近實際的颱風位置。但是模擬 24 小時之後，無投落送資料實驗的路徑逐漸修正成往西為主的移動分量，因此，颱風模擬的位置也更接近觀測的颱風位置。因此，有（無）投落送資料實驗在 12、24、36 小時的路徑誤差分別為 93 (110)、59 (142)、136 (35) 公里。

NFS 模式也特別針對帕布颱風進行在沒有進行渦旋植入程序，有無投落送資料的對路徑模擬的影響情形，結果如圖 5.6 所示。圖中清楚顯示，有投落送實驗的模擬路徑中，模擬路徑與實際颱風位置十分接近，而無投落送資料的路徑，同樣出現初期路徑明顯南偏的現象，因此，其在前 36 小時的路徑誤差明顯較有投落送實驗來得大。有（無）投落送資料實驗在 12、24、36 小時的路徑誤差分別

為 31 (131)、46 (226)、103 (153) 公里。

在帕布颱風的個案中，我們額外進行一組實驗來探討 NFS 涡旋植入程序中，以 5 個 bogus sounding 所進行有無投落送資料的實驗，目的為探討植入不同大小的渦旋對投落送資料影響評估的敏感性，其路徑模擬結果如圖 5.7 所示。圖中同樣顯示在前 24 小時的模擬路徑中，有投落送資料實驗的模擬路徑可以掌握帕布颱風初期往西移動的趨勢，而無投落送資料的模擬路徑中，同樣出現初期路徑明顯南偏的現象。因此，有（無）投落送資料實驗在 12、24、36 小時的路徑誤差分別為 52 (91)、71 (78)、184 (61) 公里。

因此透過三組實驗的路徑結果可以發現，整體而言，投落送資料對於 NFS 模式在帕布颱風的模擬中具有相當正面的助益。其中以沒有渦旋植入程序的模擬，投落送資料對於模擬路徑的影響最為明顯。而在有進行渦旋植入程序的模擬中，投落送資料同樣可以修正模式前 24 小時南偏的移動路徑。

至於 NFS 模式在聖帕颱風的模擬評估上，結果如圖 5.8 所示，圖中的路徑結果是有進行在考慮渦旋植入下，有無投落送資料同化的路徑模擬結果。由路徑結果可以發現 NFS 模式對於聖帕颱風的路徑掌握得相當不錯，但颱風的移動速度似乎稍微過快。若比較有無投落送的差異可以發現，有投落送實驗中可以讓路徑更接近實際的移動路徑，颱風登陸地點也幾乎與觀測一致，此結果與 JMA GSM 相當類似。另外，透過路徑誤差也可以發現，有投落送資料模式在 48、72 小時的路徑誤差只有 80、43 公里，遠遠低於無投落送資料的 108、128 公里。此結果顯示投落送資料在聖帕颱風的路徑模擬中具有相當正面的影響。

另外在韋帕颱風的影響評估中，路徑模擬結果如圖 5.9 所示。可以發現 NFS 模式對於韋帕颱風的模擬並不理想，主要是因為颱風通過台灣北部外海後，似乎出現較大的往北移動分量，因而導致後期的路徑誤差明顯增加。至於投落送資料對於路徑的影響上，有無資料兩者的路徑差異不大，但由於有投落送資料的颱風移速較快，因此北偏的現象更明顯，造成後期的路徑誤差比無投落送實驗來得大。有、無投落送資料實驗在第 48 小時的路徑誤差分別為 300、263 公里，換算成路徑誤差改進率大約是 -14%。

另一個颱風柯羅莎的投落送資料影響評估如圖 5.10 所示。可以發現與韋帕颱風的結果相當類似，即 NFS 模式對柯羅莎路徑的掌握並不理想；同樣是在模

擬後期颱風會出現明顯的偏轉現象，進而造成路徑誤差明顯變大，模式在 72 小時的路徑誤差則已接近 600 公里。至於資料影響評估上，可以發現有、無投落送資料實驗的路徑差距不大，於 72 小時的模擬期間中，兩實驗的路徑誤差均相距不到 30 公里。此結果顯示，投落送對於柯羅莎颱風路徑模擬的影響並不顯著。

最後，總結 CWB NFS 模式對於投落送資料在颱風路徑模擬的影響評估。在今年度 4 個颱風個案的影響評估結果中，由於在帕布與聖帕颱風的結果中，有投落送資料實驗的路徑誤差均可以明顯被大幅降低，而韋帕與柯羅莎颱風的結果是些許的負面效果。此結果可以透過四個颱風個案的平均路徑誤差得知，如圖 5.11 所示。從圖中可以發現在前 72 小時的驗證時間中，除了第 36 小時有投落送實驗的平均路徑誤差大於無投落送實驗的平均路徑誤差外，其餘各個時間點的平均路徑誤差都比較小。而若將 6 個時間點的路徑誤差改進率取平均的話，大約是 5%。因此，投落送資料對於 NFS 模式在颱風路徑模擬的改進上仍然具有正面效益。

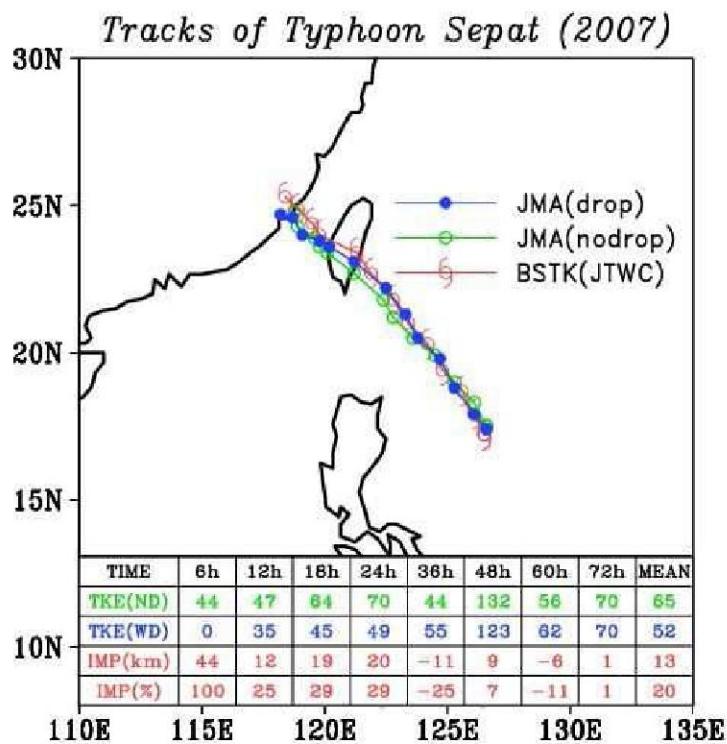


圖 5.1：聖帕颱風的 JTWC 最佳路徑與 JMA GSM 有無投落送資料實驗的模擬路徑。TKE(ND)為無投落送實驗路徑誤差，TKE(WD)為有投落送實驗路徑誤差，單位，公里。IMP(km)為路徑誤差減少，單位，公里；IMP(%)為路徑改善率，單位，%。

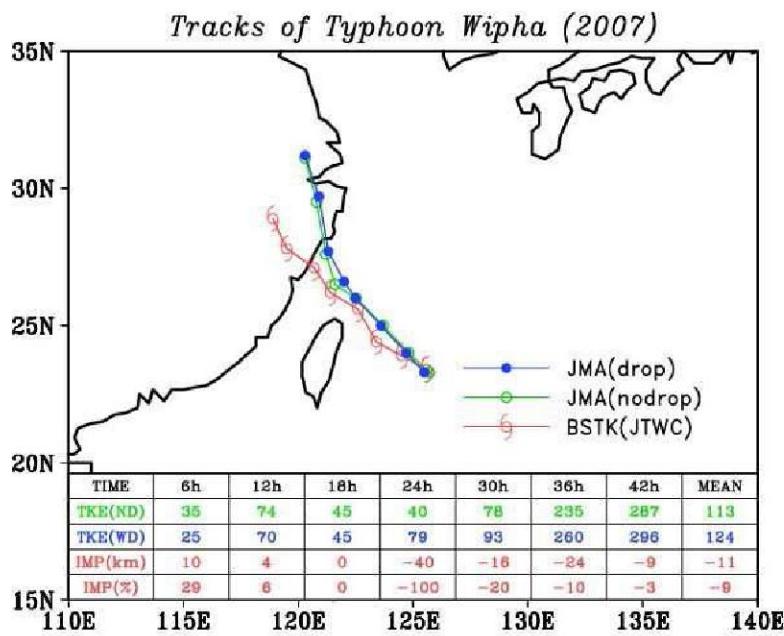


圖 5.2：韋帕颱風的 JTWC 最佳路徑與 JMA GSM 有無投落送資料實驗的模擬路徑。TKE(ND)為無投落送實驗路徑誤差，TKE(WD)為有投落送實驗路徑誤差，單位，公里。IMP(km)為路徑誤差減少，單位，公里；IMP(%)為路徑改善率，單位，%。

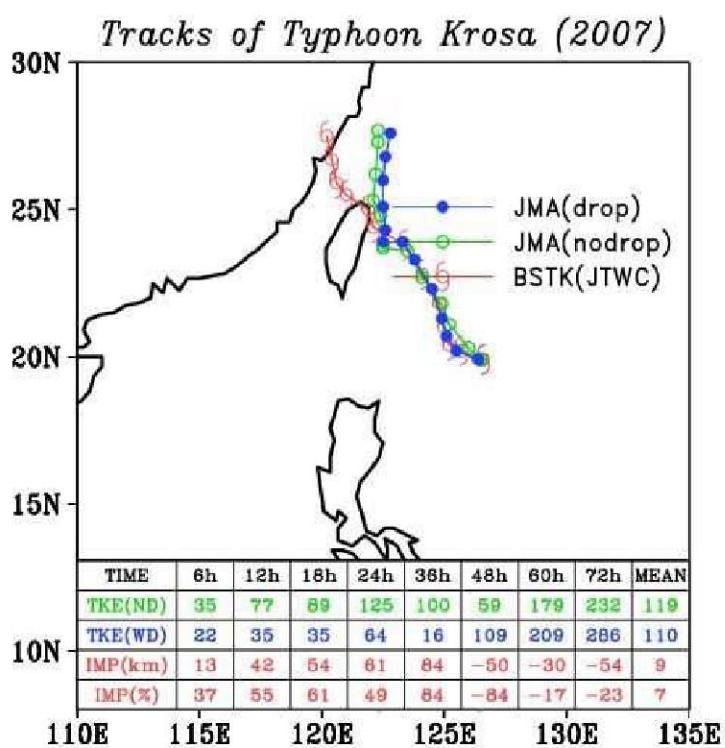


圖 5.3：柯羅莎颱風的 JTWC 最佳路徑與 JMA GSM 有無投落送資料實驗的模擬路徑。TKE(ND)為無投落送實驗路徑誤差，TKE(WD)為有投落送實驗路徑誤差，單位，公里。IMP(km)為路徑誤差減少，單位，公里；IMP(%)為路徑改善率，單位，%。

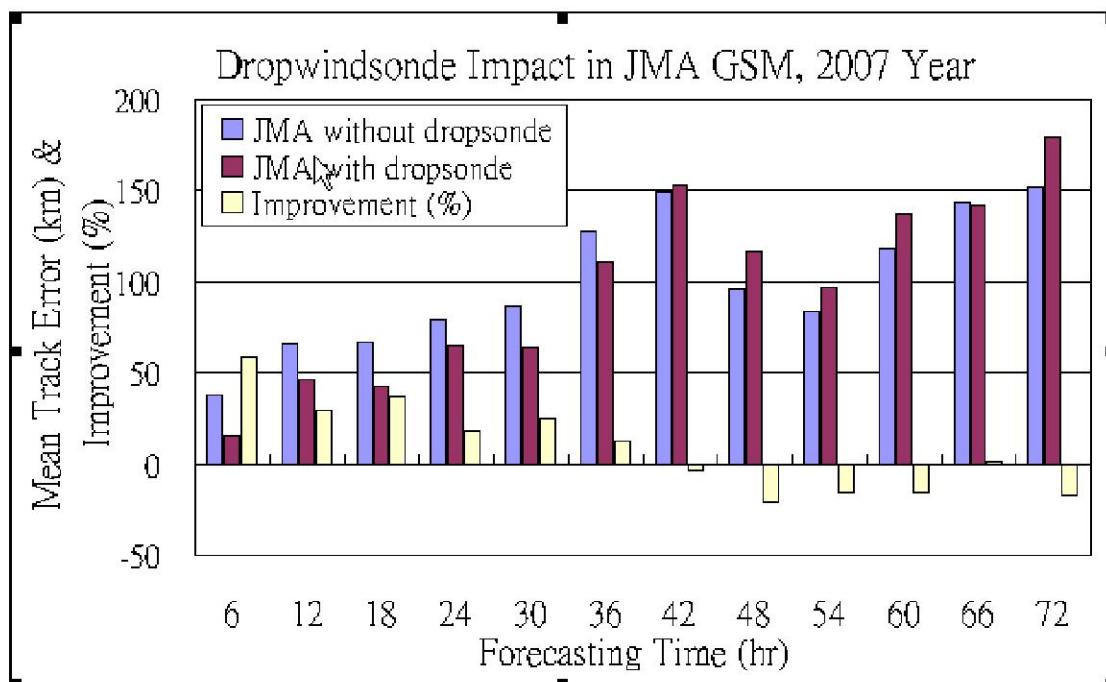
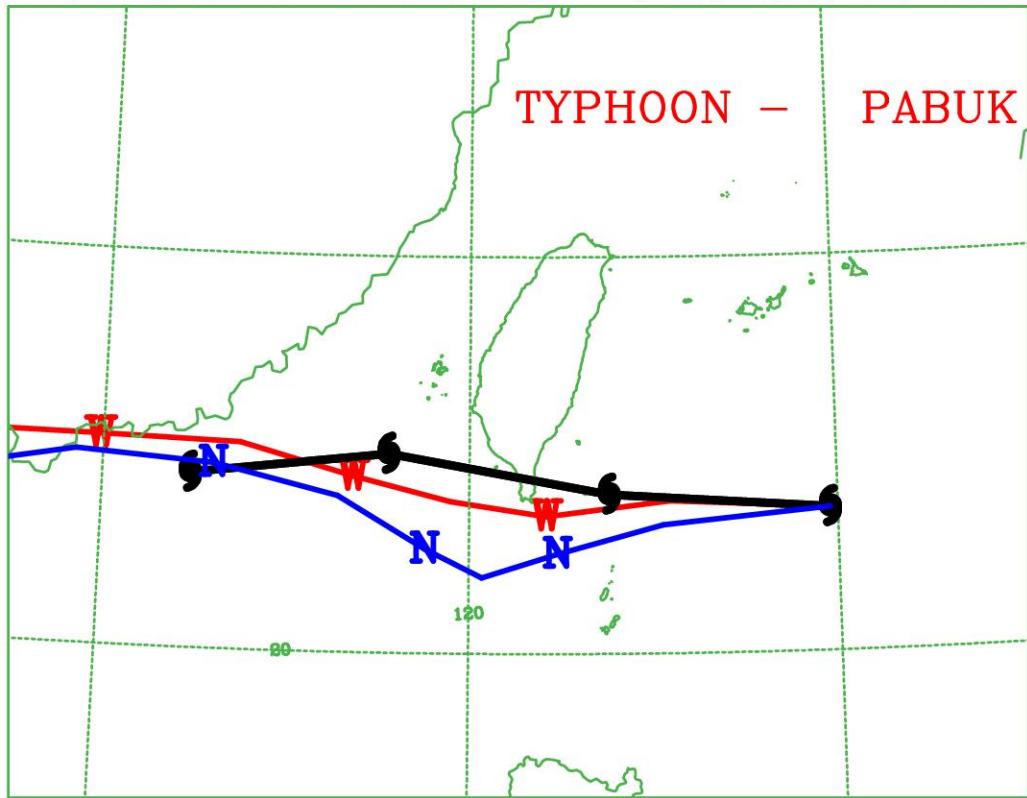


圖 5.4：JMA GSM 模式於 2007 年所進行投落送資料影響評估實驗的平均路徑誤差及路徑誤差改進率，個案數總共有 3 個。

with bogus

NFS(45KM) TYPHOON TRACK FORECAST (2007/08/07/00Z) BOGUS



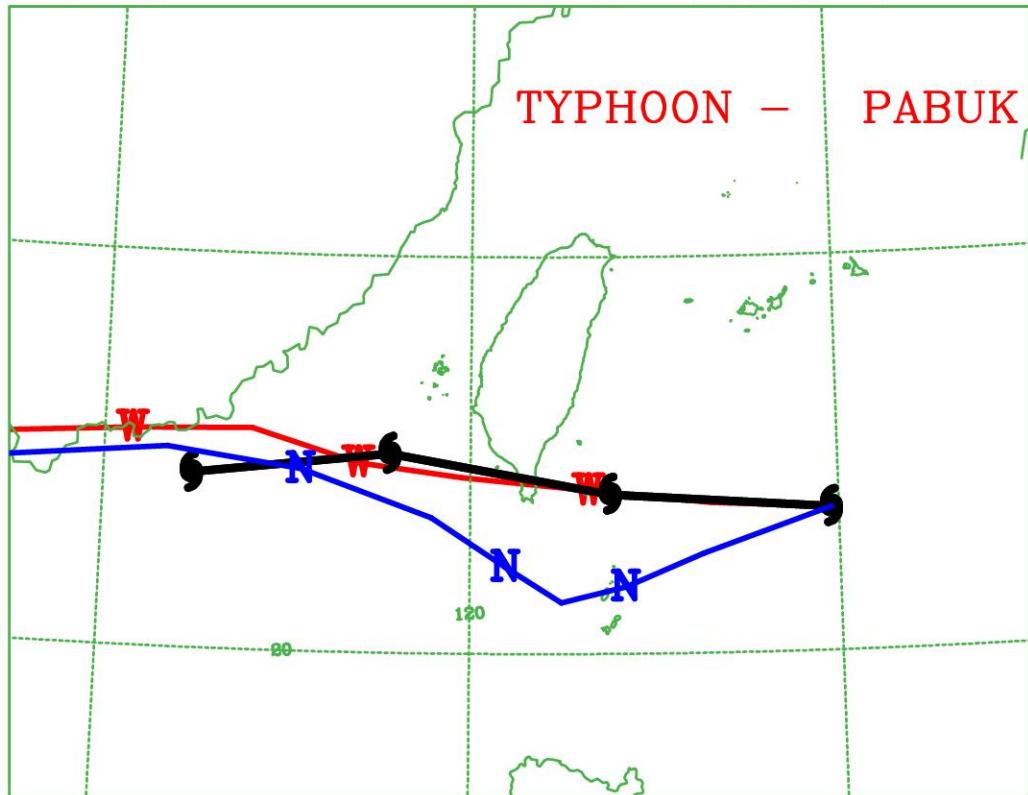
	(45km)	12hr	24hr	36hr
W		93 km	59 km	136 km
N		110 km	142 km	35 km

有投落送資料 'W' - 紅色，無投落送資料 'N' - 藍色

圖 5.5：帕布颱風的CWB 最佳路徑與 NFS 45 公里解析度有無投落送資料實驗的模擬路徑，兩實驗均有進行渦旋植入的程序。

Without bougs

NFS(45KM) TYPHOON TRACK FORECAST (2007/08/07/00Z) NOBOGUS



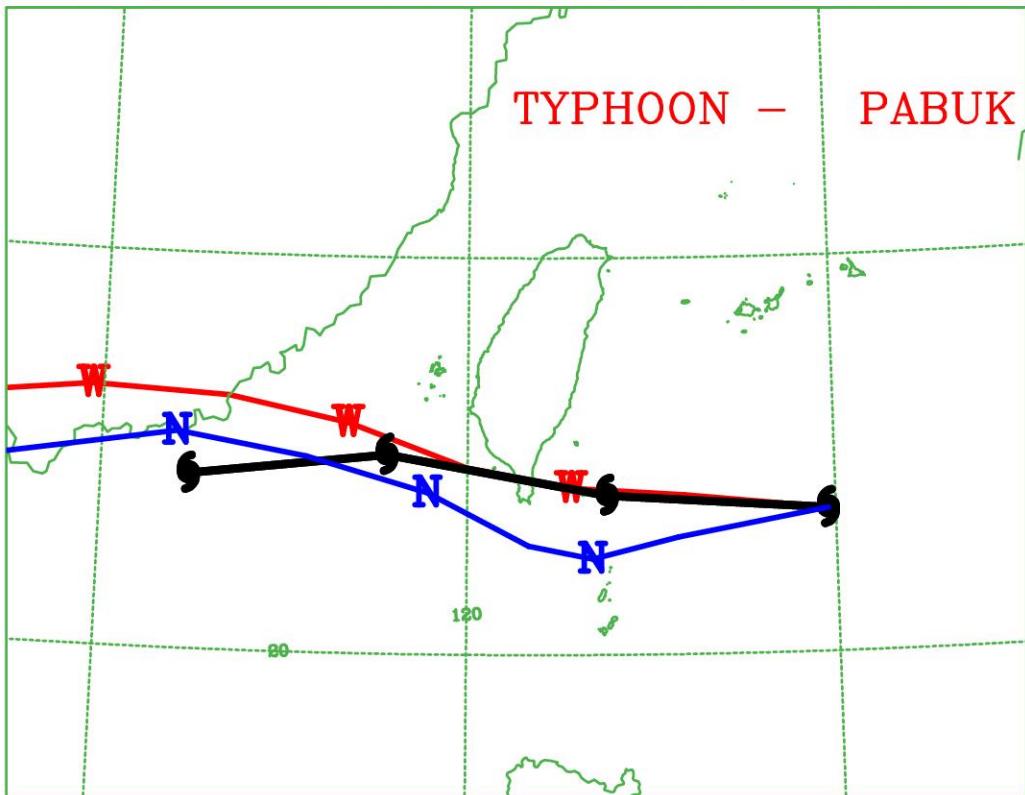
	(45km)	12hr	24hr	36hr
W		31 km	46 km	103 km
N		131 km	226 km	153 km

有投落送資料 'W' - 紅色，無投落送資料 'N' - 藍色

圖 5.6：帕布颱風的CWB 最佳路徑與 NFS 45 公里解析度有無投落送資料實驗的模擬路徑，兩實驗均無進行渦旋植入的程序。

5-point bogus

NFS(45KM) TYPHOON TRACK FORECAST (2007/08/07/00Z) 5 POINT



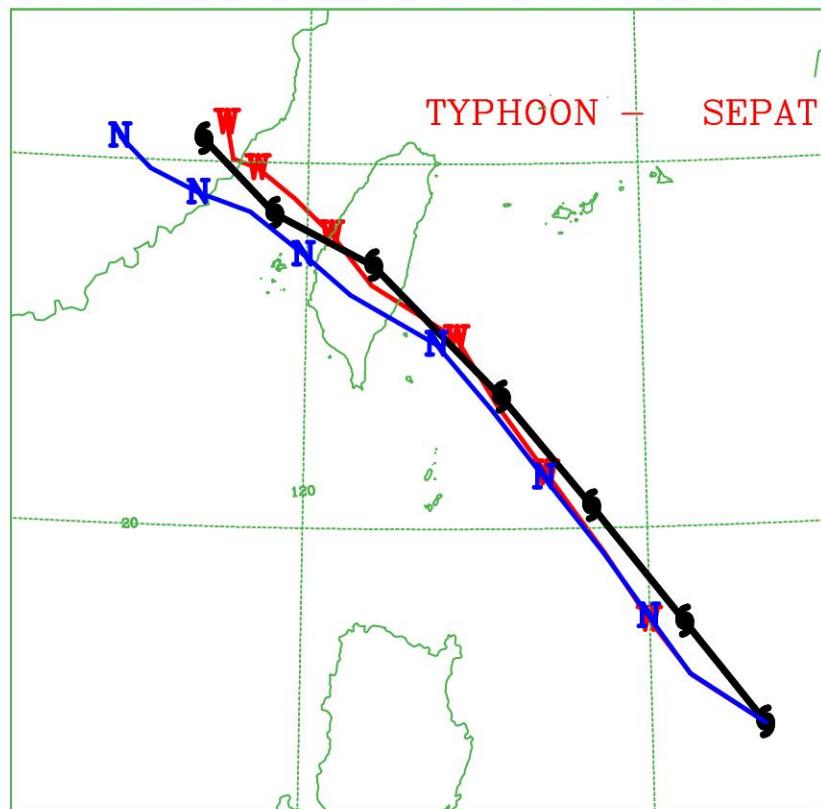
	(45km)	12hr	24hr	36hr
W		52 km	71 km	184 km
N		91 km	78 km	61 km

有投落送資料 'W- 紅色，無投落送資料 'N- 藍色

圖 5.7：帕布颱風的CWB最佳路徑與NFS 45 公里解析度有無投落送資料實驗的模擬路徑，兩實驗均有進行渦旋植入的程序，但為 5 點的 bogus sounding 資料。

with bogus

NFS(45KM) TYPHOON TRACK FORECAST (2007/08/16/00Z) BOGUS



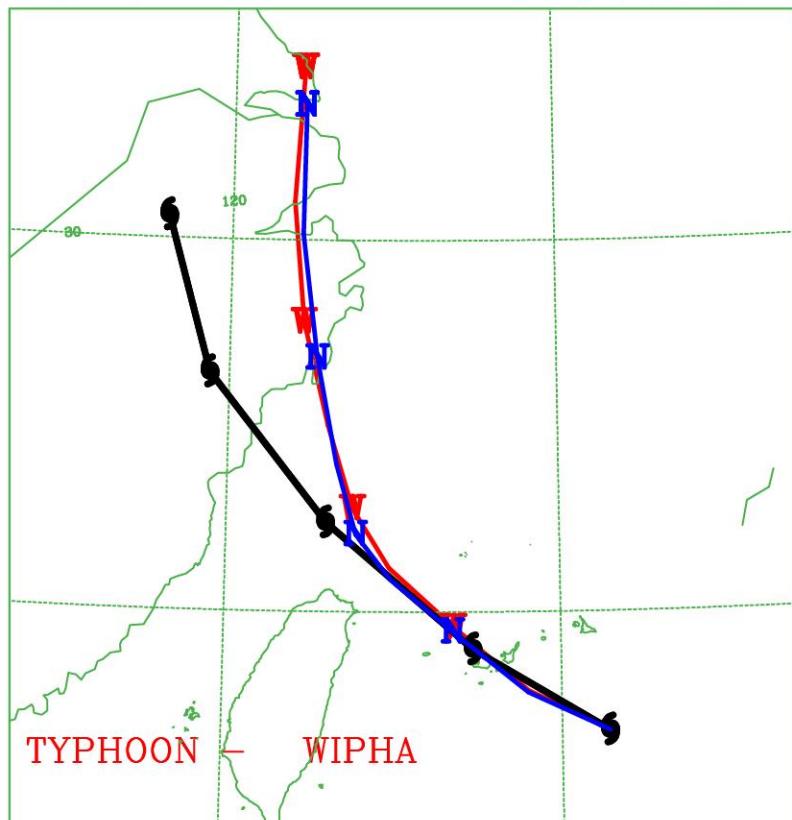
45km	12hr	24hr	36hr	48hr	60hr	72hr
<i>W(km)</i>	53	84	112	80	74	43
<i>N(km)</i>	54	84	127	108	121	128

有投落送資料 '*W*- 紅色，無投落送資料 '*N*- 藍色

圖 5.8：聖帕颱風的 CWB 最佳路徑與 NFS 45 公里解析度有無投落送資料實驗的模擬路徑，兩實驗均有進行渦旋植入的程序。

with bogus

NFS(45KM) TYPHOON TRACK FORECAST (2007/09/17/12Z) BOGUS



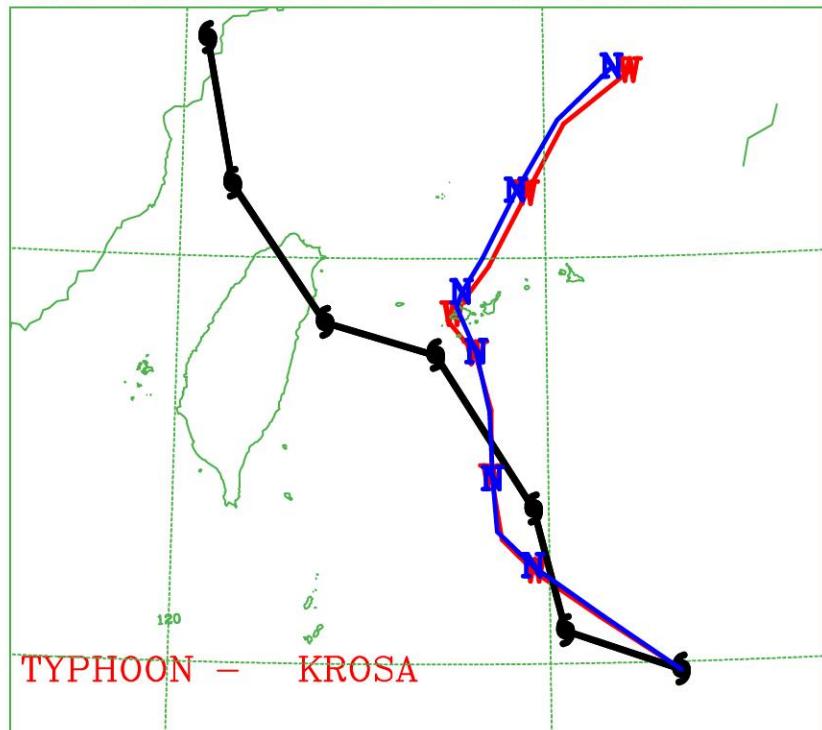
45km	12hr	24hr	36hr	48hr	60hr	72hr
$W(km)$	43	45	159	300		
$N(km)$	40	48	162	263		

有投落送資料 ' W ' - 紅色，無投落送資料 ' N ' - 藍色

圖 5.9：韋帕颱風的 CWB 最佳路徑與 NFS 45 公里解析度有無投落送資料實驗的模擬路徑，兩實驗均有進行渦旋植入的程序。

with bogus

NFS(45KM) TYPHOON TRACK FORECAST (2007/10/04/12Z) BOGUS



45km	12hr	24hr	36hr	48hr	60hr	72hr
$W(km)$	91	71	55	176	404	583
$N(km)$	98	69	56	192	390	558

有投落送資料 'W- 紅色，無投落送資料 'N- 藍色

圖 5.10：柯羅莎颱風的 CWB 最佳路徑與 NFS 45 公里解析度有無投落送資料實驗的模擬路徑，兩實驗均有進行渦旋植入的程序。

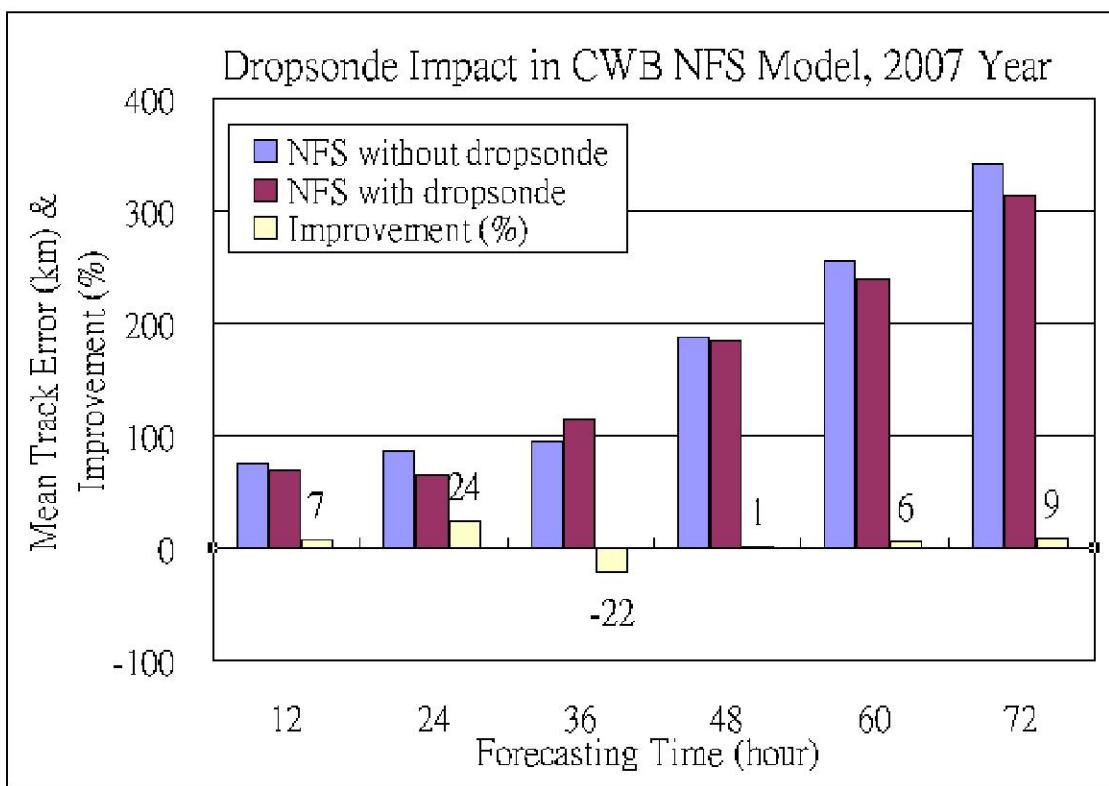


圖 5.11:CWB NFS 模式於 2007 年所進行投落送資料影響評估實驗的平均路徑誤差及路徑誤差改進率，個案數總共有 4 個。

六、結論

國科會於 2002 年 8 月起三年內提供相當經費，進行由台大大氣科學系吳俊傑教授所主持的颱風重點研究。首要研究項目是以全球衛星定位式投落送進行飛機觀測，名為侵台颱風之飛機偵察及投落送觀測實驗，又名追風計畫。此計畫將使用 ASTRA 飛機與機載垂直大氣探空系統（AVAPS）設備，以每架次 5-6 小時時間直接飛到颱風周圍 43000 英呎的高度投擲投落送，以取得颱風周圍關鍵區域的大氣環境資料：溫度、溼度、氣壓以及風速等。在觀測的同時，這些寶貴的投落送資料皆即時進入中央氣象局及世界各國氣象單位之電腦預測系統中，協助預測颱風路徑及分析其周圍結構，如暴風半徑（對颱風停班停課之決策具關鍵性影響）。

追風計畫在 2003-2006 年的研究成果中，總共針對 20 個颱風執行 24 次觀測任務，飛機累計飛行時數超過 129 小時並拋投 386 枚投落送。本研究團隊根據 2004 年 10 個颱風觀測個案中進行研究，研究結果顯示投落送資料對於在颱風路徑預報的改進上，在國外三個主要全球模式均有顯著的成效，而根據三者系集平均的結果的路徑誤差修正可達 20%。本研究團隊亦使用 MM5 adjoint modeling system 所發展一套新的架構來尋找影響颱風駛流的敏感區域，此一方法已即時運用於每次的飛機觀測中。另一方面，研究團隊亦使用 MM5 模式與其伴隨的 3DVAR 資料同化模式，來進行有效結合虛擬渦旋與投落送資料的渦旋初始化工，研究結果顯示透過此方法，颱風之路徑及強度預報能力將有明顯提升。

本委託計畫延續追風計畫過去四年所累積之研究成果，繼續執行使用 GPS 投落送進行颱風飛機偵察之觀測任務。本計畫今年度至今已完成帕布、聖帕、韋帕及柯羅莎颱風等四次飛機觀測。在帕布、聖帕、韋帕及柯羅莎颱風等四次飛機觀測中，累計的飛行時數已達 22 個小時，並成功使用 73 具投落送。另外，四次颱風觀測的投落送資料均已透過衛星電話撥接回傳中央氣象局，並即時顯示於氣象局 WINS 系統。此外，投落送資料模式影響評估實驗亦已完成。氣象局 NFS 與 JMA GSM 模式目前已完成所有觀測個案的路徑影響評估實驗。在氣象局 NFS 模式的結果中，前 72 小時的平均路徑誤差改進率約有 5%，而 JMA GSM 則有 9% 左右。

總之，此研究將進行西北太平洋地區颱風偵察飛機觀測實驗。研究人員將直接飛行到接近台灣的颱風周圍上空，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。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。

基於 GPS 投落送的潛在價值，為有效增加颱風周遭環境大氣資料之觀測，我們認為亟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及後續研究（pilot and follow-up studies），以期取得及測試新資料；並透過模式探討影響模式颱風路徑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工作，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（targeted 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之先驅實驗。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 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。

在 2006 年 THORPEX/PARC (The Observation System Research and Predictability Experiment Pacific-Asian Regional Campaign) 的國際會議結論中，日本規劃在 2008 年起亦會使用飛機進行侵日颱風的 GPS 投落送觀測，此國際性研究計畫將與台灣地區的追風計畫相互輝映，預期此藉由飛機量測颱風周圍資料將有更大的影響。另外，追風計畫已成為世界氣象組織所規劃 THORPEX 實驗 2008 年亞洲觀測實驗的重要一環，將與東亞各國共同合作推動 THORPEX/PARC 實驗。主持人 2006 年 11 月受邀參與聯合國世界氣象組織所主辦之 6th International Workshop on Tropical Cyclones，並針對颱風之策略性觀測及資料同化給予專題回顧演講。會中追風計畫深受國際矚目並為多次演講所引用。國人所支持及成功推動的追風計畫在國際間已具一席之地。會議結論並正式推薦未來更多國家共同參與相關之颱風飛機觀測研究。

在 2007 年 4 月主持人受邀前往韓國濟州島，參加為慶祝韓國颱風中心成立所舉行的颱風研討會，並針對台灣追風計畫的相關研究成果發表演講。另外，在 6 月台灣所舉辦的 PSA 會議中，主持人亦邀請美國、日本主要參與 THORPEX/PARC 實驗的學者進行科學議題探討與 2008 年國際觀測實驗細節進

行討論。此外，同年 7 月主持人亦前往日本參與 THORPEX/PARC 的 ARC (Asian Regional Committee)委員會議，與亞太各國的氣象學者分享台灣追風計畫成果與經驗交流，另外亦與 JMA 及 MRI 多數學者討論 2008 年台灣與日本共同進行颱風飛機觀測實驗的事宜，一切規劃進展非常順利成功。此外，主持人也受邀前往韓國延世(Yonsei)大學參與觀測研討會，會議中主要為討論 2008 年國際觀測實驗的合作事宜。

今年 12 月 4-7 號，主持人亦將前往夏威夷參加 T-PARC 所舉辦的 2008 年觀測實驗的規劃會議。美國海軍正規劃進行 TCS-08 實驗(Tropical Cyclone Structure 2008)，將於 2008 年派遣美國海軍 P3 與空軍 C-130 飛機於西北太平洋共同參與 T-PARC 觀測實驗。目前也積極規劃如何針對位於台灣與日本琉球群島附近的颱風，進行同時有四架飛機（台灣的 Astra、日本的 Falcon 與美國的 P3、C130）的觀測實驗。我們將共同合力促成此臺、日、美的國際觀風觀測實驗，並期望這些觀測資料可以對國際颱風研究與預報能有所助益。

我們也預期在學術界與氣象局的充分合作下，將讓學術界在颱風議題上位於國際研究與作業的前端，而氣象局的付出與投入亦能符合社會大眾最迫切的需求，如此學界與氣象局將創造雙贏的局面。總之，颱風之投落送飛機觀測已有具體成果，對於國內及國際皆有相當之貢獻。我們感謝中央氣象局之充分支持，讓這一個重大的學術及作業研究計畫持續發揚光大，進而造福民生。

致謝

感謝中央氣象局與國科會支持，此研究計畫得以順利推展。特別感謝氣象局預報中心、科技中心、衛星中心及資訊中心相關配合人員鼎力協助。追風計畫研究團隊的努力與奉獻及國內大氣科學界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

- 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。
- 徐光前，2004：侵台颱風之飛機偵察及投落送觀測實驗之資料分析與驗證。國立台灣大學大氣科學系，碩士論文。
- 黃歲梵，2006：投落送資料對颱風路徑模擬評估研究--康森及米雷颱風個案分析。國立台灣大學大氣科學系，博士論文。
- 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.
- Aberson, S. D., 2003: Targeted observations to improve operational tropical cyclone track forecast guidance. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1613–1628.
- Atlas, R., R. N. Hoffman, S. M. Leidner, J. Sienkiewicz, T. W. Yu, S. C. Bloom, E. Brin, J. Ardizzone, J. Terry, D. Bungato and J. C. Jusem 2001 : The Effects of Marine Winds from Scatterometer Data on Weather Analysis and Forecasting. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 9, 1965-1990.
- 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.
- Chen, J.-H., Chun-Chieh Wu, Po-Hsiung Lin, and Kun-Hsuan Chou, 2006: Targeted Observations of Tropical Cyclone Movement Based on the Adjoint-Derived Sensitivity Steering Vector. Preprint, 27th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Miami, Amer. Meteor. Soc.
- Chou, K.-H., and C.-C. Wu, 2007: Development of the Typhoon Initialization in a Mesoscale Model - Combination of the Bogused Vortex and the Dropwindsonde Data in DOTSTAR. *Mon. Wea. Rev.* (in press)
- Dunion, J. P., and C. S. Velden, 2002: Application of surface-adjusted GOES low-level cloud-drift dinds in the environment of atlantic tropical cyclones. part I: methodology and validation. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 1333–1346.
- Dunion, J. P., S. H. Houston, C. S. Velden, and M. D. Powell, 2002: Application of surface-adjusted GOES low-level cloud-drift winds in the environment of atlantic tropical cyclones. part II: integration into surface wind analyses. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 1347–1355.

- Etherton, B., C.-C. Wu, S. J. Majumdar, and S. D. Aberson, 2006: A comparison of the targeting techniques for 2005 Atlantic tropical cyclones. Preprints, 27th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Amer. Meteor. Soc.
- 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.
- Franklin, J. L., M. L. Black, and K. Valde, 2003: GPS dropwindsonde wind profiles in hurricanes and their operational implications. Wea. Forecasting, 18, 32–44.
- Hock, T. F., and J. L. Franklin, 1999: The NCAR GPS dropwindsondes. Bull. Amer. Meteor. Soc., 80, 407-420.
- Huang, W. P., C.-C. Wu, P.-H. Lin, and K.-H. Chou, 2006: The Impact of the Dropwindsonde Data from DOTSTAR on the Prediction of Typhoon Conson (2004) in Numerical Models. Preprint, 27th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Miami, Amer. Meteor. Soc.
- 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.
- Powell, M. D., P. J. Vickery, and T. A. Reinhold, 2003 : Reduced Drag Coefficient for High Wind Speeds in Tropical Cyclone. Nature, 422, 279-283.
- Soden, B. J., C. S. Velden, and R. E. Tuleya, 2001 : The Impact of Satellite Winds on Experimental GFDL Hurricane Model Forecasts. Mon. Wea. Rev., 124, 835-852.
- Wu, C.-C., and K. A. Emanuel, 1995a: Potential vorticity diagnostics of hurricane movement. Part I: A case study of Hurricane Bob (1991). Mon. Wea. Rev., 123, 69-92.
- Wu, C.-C., and K. A. Emanuel, 1995b: Potential vorticity diagnostics of hurricane movement. Part II: Tropical Storm Ana (1991) and Hurricane Andrew (1992). Mon. Wea. Rev., 123, 93-109.
- Wu, C.-C., and Y. Kurihara, 1996: A numerical study of the feedback mechanisms of hurricane-environment interaction on hurricane movement from the potential vorticity perspective. J. Atmos. Sci., 53, 2264-2282.
- Wu, C.-C., and H.-J. Cheng, 1999: An observational study of environmental influences on the intensity changes of Typhoons Flo (1990) and Gene (1990). Mon. Wea. Rev., 127, 3003-3031.
- 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., M. Bender, and Y. Kurihara, 2000a: Typhoon forecasts with the GFDL hurricane model: Forecast skill and comparison of predictions using AVN and NOGAPS global analyses. *J. Meteor. Soc. Japan*, 78, 777-788.
- Wu, C.-C., H.-C. Kuo, H.-H. Hsu, and B J.-D. Jou, 2000b: Weather and climate research in Taiwan: Potential application of GPS/MET data. *Terr. Atmos. and Oceanic Sci.*, 11, 211-234.
- Wu, C.-C., 2001: Numerical simulation of Typhoon Gladys (1994) and its Interaction with Taiwan terrain Using GFDL hurricane model. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 1533-1549.
- Wu, C.-C., T.-H. Yen, Y.-H. Kuo, and W. Wang, 2002: Rainfall simulation associated with Typhoon Herb (1996) near Taiwan. Part I: the topographic effect. *Wea. and Forecasting*, 17, 1001-1015.
- Wu, C.-C., T.-S. Huang, W.-P. Huang, and K.-H. Chou, 2003a: A new look at the binary interaction: Potential vorticity diagnosis of the unusual southward movement of Tropical Storm Bopha (2000) and its interaction with Supertyphoon Saomai (2000). *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1289-1300.
- Wu, C.-C., K.-H. Chou, H.-J. Cheng, and Y. Wang, 2003b: Eyewall Contraction, Breakdown and Reformation in a Landfalling Typhoon. *Geophys. Res. Lett.*, 30 (17), 1887, doi:10.1029/2003GL017653.
- Wu, C.-C., P. H. Lin, K.S. Chou, T. C. Yeh, M. D. Cheng, S. D. Aberson, S. Majumdar, M. Peng, and C. Retnolds, 2004a: Targeted observation strategies in DOTSTAR. *Proc., First THORPEX International Science Symposium, World Meteorological Organization*, 5-10 Dec., Montreal, Quebec, Canada.
- Wu, C.-C., T.-S. Huang, and K.-H. Chou, 2004b: Potential vorticity diagnosis of the key factors affecting the motion of Typhoon Sinlaku (2002), *Mon. Wea. Rev.*, 132, 2084-2093.
- Wu, C.-C., P.-H. Lin, S. Aberson, T.-C. Yeh, W.-P. Huang, K.-H. Chou, J.-S. Hong, G.-C. Lu, C.-T. Fong, K.-C. Hsu, I-I Lin, P.-L. Lin, C.-H. Liu, 2005: Dropsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region (DOTSTAR): An overview. *Bulletin of Amer. Meteor. Soc.*, 86, 787-790.
- Wu, C.-C., K.-H. Chou, Y. Wang, and Y.-H. Kuo, 2006: Tropical cyclone initialization and prediction based on four-dimensional variational data assimilation, *J. Atmos. Sci.*, 63, 2383–2395.
- Wu, C.-C., J.-H. Chen, P.-H. Lin, and K.-H. Chou, 2007a: Targeted observations of tropical cyclones based on the adjoint-derived sensitivity steering vector. *J. Atmos. Sci.*, 64,

2611-2626.

Wu, C.-C., K.-H. Chou, P.-H. Lin, S. Aberson, M. S. Peng, and T. Nakazawa, 2007b: The impact of dropwindsonde data on typhoon track forecasting in DOTSTAR. *Wea. and Forecasting*, **22**, 1157-1176.