

# 96 年颱風投落送飛機觀測

## The operations of aircraft observations for typhoon

主管單位：交通部中央氣象局(氣象科技研究中心)

吳俊傑

林博雄

周昆炫

Wu, Chun-Chieh

Lin, Po-Hsiung

Chou, Kun-Hsuan

國立台灣大學 大氣科學系

### 摘要

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 英尺的高度投擲投落送，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）。

民國 92 年 9 月至 95 年底為止，追風計畫已針對 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 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)。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。研究團隊亦提出以共軌模式計算出颱風觀測敏感區域之颱風觀測的創新策略理論(Wu et al. 2007b)，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。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 2008)。

本計畫於民國 96 年已完成帕布、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為 5%，而 JMA GSM 約為 9%。

關鍵字：追風計畫、投落送、飛機環境觀測

## **Abstract**

In 2002, the NSC approved funding for typhoon research over the next three years, and the grant-aided "Priority Typhoon Research" project is directed by Prof. Chun-Chieh Wu of the Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University. The project includes the "Dropsonde Observation for Typhoon Surveillance near the TAIwan Region" (DOTSTAR), involving interdepartmental as well as international efforts from Taiwan and the US, aims to perform GPS dropwindsonde airborne observation of typhoons. The project employs an ASTRA aircraft and the Airborne Vertical Atmosphere Profiling System (AVAPS). With the aforementioned equipment, dropwindsondes are released directly into typhoons from an altitude of 43,000 feet. The imbedded sensor in dropwindsonde can measure the temperature, pressure, wind and humidity of the atmosphere and these observations will be executed for five to six hours during each flight. Data are collected on the airplane and be transmitted by a satellite communication aboard the aircraft in real time to CWB, the data has also been spread out to the other operational meteorological agencies over the world. The data are expected to be enabling to improve the forecast of track, intensity, and structure and size of tropical storm.

From 2003 to 2006, the DOTSTAR have conducted 24 surveillance flight missions for 20 typhoons, with 129 flight hours and 386 dropwindsondes released. This project is conducted based on the past four-year results from DOTSTAR. An average 20% improvement for the 12-72h track forecasts over the NCEP-GFS, FNMOC-NOGAPS, JMA-GSM, their ensembles, and the WRF model has been demonstrated (Wu et al. 2007a). Recently we have proposed a new theory (Wu et al. 2007b) to identify the sensitive area for the targeted observations of tropical cyclones based on the adjoint model. By appropriately defining the response functions to represent typhoon's steering flow at the verifying time, a unique new parameter, the Adjoint-Derived Sensitivity Steering Vector (ADSSV) has been designed to clearly demonstrate the sensitivity locations at the observing time. Meanwhile, some better methods to combine the dropwindsonde data with the bogused vortex has also been examined in Chou and Wu (2008).

Four missions have been successfully conducted for typhoon Pabuk, Sepat, Wipha, and Krosa in 2007, with 22 flight hours and 73 dropwindsondes deployed in total. All the observation data are transmitted to CWB and displayed on WINS system in real time. Furthermore, the observed surface wind is also utilized to analyze the size of the tropical cyclone. The impacts of the dropwindsonde on tropical cyclone track forecasting are evaluated by CWB NFS and JMA GSM model. For the 4-case evaluation this year, the mean track error reduction for the 6-72-h forecasts is 5% and 9% for NFS and GSM respectively.

Keywords: DOTSTAR, dropwindsonde, typhoon surveillance

## 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。

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。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、珊珊等等 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 2008)。

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。研究團隊亦提出以共軛模式計算出颱風觀測敏感區域之颱風觀測的創新策略理論(Wu et al. 2007b)，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。目前已被採用作為新一代國際（如美國國家海洋大氣總署所屬颶風研究中心）颱風飛機觀測之參考。整體而言，投落送飛機觀測實驗深受國際矚目。

### 三、觀測個案

本委託計畫於民國 96 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：

### 3.1 帕布颱風 (Pabuk, 2007/08/07/00UTC)

帕布颱風為 2007 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。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。另外，飛機飛行過程中所量測的機外溫度與風速亦同時儲存並傳送至台大與氣象局，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。此外，氣象局 QPESUMS 系統亦能顯示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 1 所表示的即為投落送量測的 925 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 2 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。

### 3.2 聖帕颱風 (Sepat, 2007/08/16/00UTC)

聖帕颱風為 2007 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。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面風場如圖 3 所示。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 所表示的即為投落送量測的 925 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。

### 3.3 韋帕颱風 (Wipha, 2007/09/17/12UTC)

韋帕颱風為 2007 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。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風場如圖 5 所示。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 6 所表示的即為投落送量測的 925 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 公里處的地面風速可達 15 m/s 以上，而距離中心 400 公里左右的地面風速也遠超過

10 m/s。

### 3.4 柯羅莎颱風 (Krosa, 2007/10/04/12UTC)

柯羅莎颱風為 2007 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。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風場如圖 7 所示。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 8 所表示的即為投落送量測的 925 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。

## 四、投落送資料模式影響評估研究

在 2007 年四個觀測個案中，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，本文將以 JMA GSM 模式的評估結果進行介紹。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颱風的氣壓場、溫度場、風場於模式初始場的分佈情形。

在 2007 年四次飛機觀測中的個案，除了帕布颱風因為美國 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，其他三個颱風觀測個案，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 9 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 10 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 11 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 12 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。

## 五、結論

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。本計畫於民國 96 年度年度已完成帕布、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。

在 2008 年本研究團隊也將參與國際大型觀測計畫 THORPEX/PARC，將與日本（TH08 計畫）、美國（TCS-08 計畫）等國，共同進行颱風觀測實驗。我們將共同合力完成此臺、日、美、韓、中、德的國際颱風觀測實驗，這些觀測資料預期能對颱風路徑預報、颱風形成、結構演變、路徑偏轉及變性等相關研究能有重大突破。追風計畫研究團隊一方面期望能對國內科技、民生與防災有重大貢獻，另一方面，則希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。

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。

## 參考文獻

1. 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。
2. Chou, K.-H., and C.-C. Wu, 2008: Development of the Typhoon Initialization in a Mesoscale Model - Combination of the Bogused Vortex and the Dropwindsonde Data in DOTSTAR. *Mon. Wea. Rev.* 136, 865-879.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.

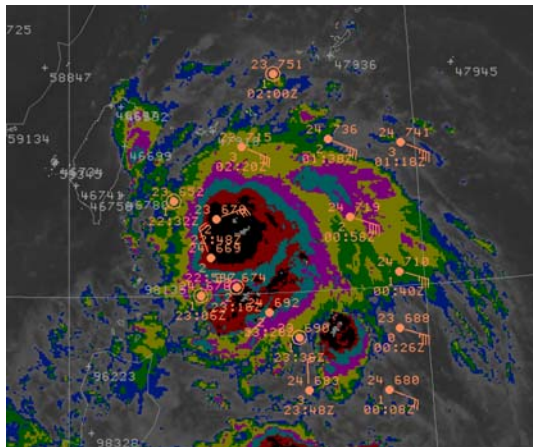


圖 1：氣象局 WINS 系統所顯示帕布颱風 925 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。

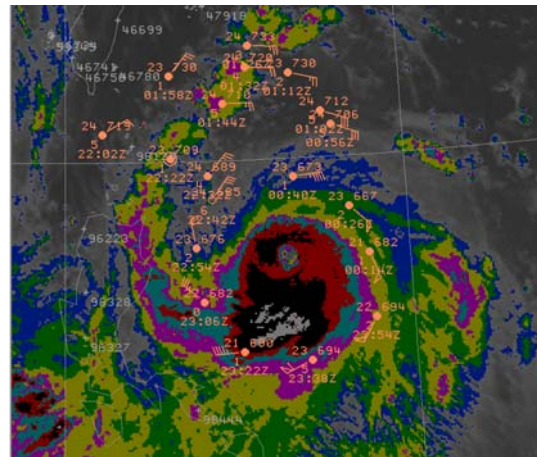


圖 4：氣象局 WINS 系統所顯示聖帕颱風 925 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。

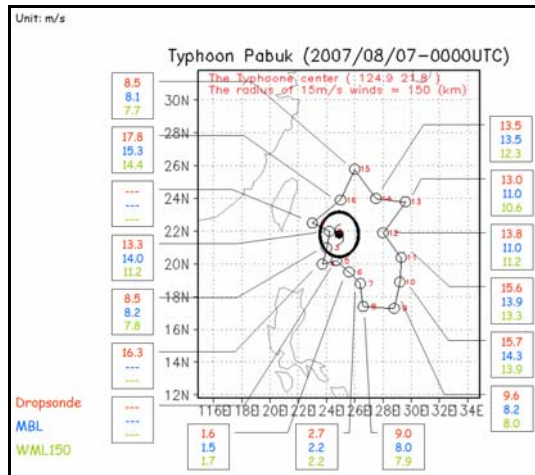


圖 2：台大研究團隊根據高垂直解析度的投落送資料所分析之地面風場，單位 m/s。

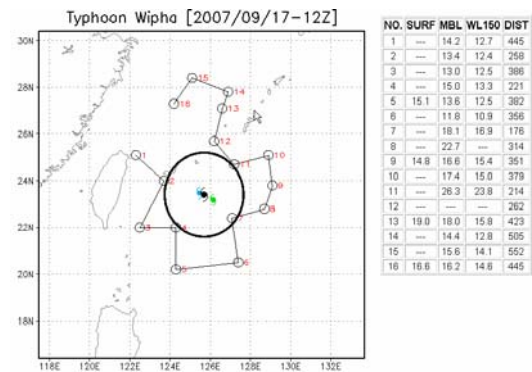


圖 5：韋帕颱風飛機觀測飛行路徑及 16 枚投落送拋投順序、位置與高垂直解析度的投落送資料所分析之地面風場，單位 m/s。

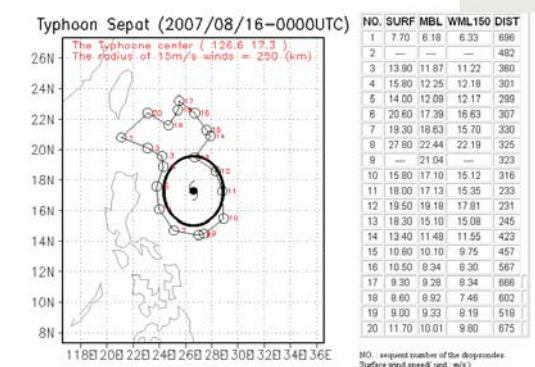


圖 3：聖帕颱風飛機觀測飛行路徑及 20 枚投落送拋投順序、位置與高垂直解析度的投落送資料所分析之地面風場，單位 m/s。

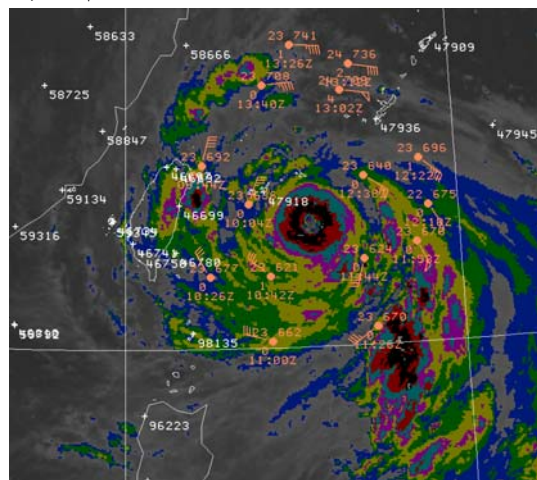


圖 6：氣象局 WINS 系統所顯示韋帕颱風 925 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。

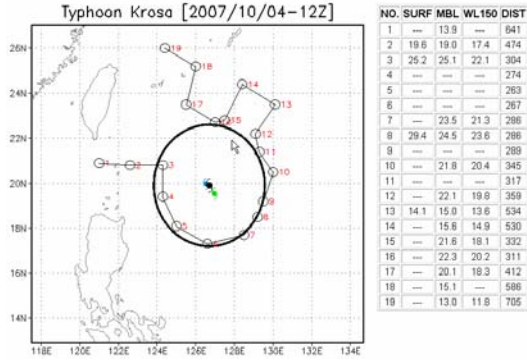


圖 7：柯羅莎颱風飛機觀測飛行路徑及 19 枚投落送拋投順序、位置與高垂直解析度的投落送資料所分析之地面風場，單位 m/s。

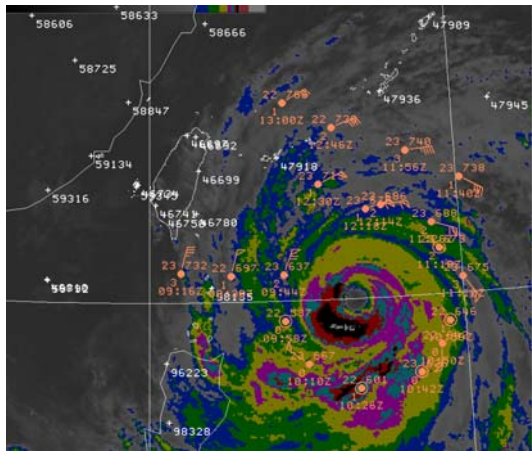


圖 8：氣象局 WINS 系統所顯示柯羅莎颱風 925 hPa 之投落送量測風場，陰影區為 IR 雲圖。

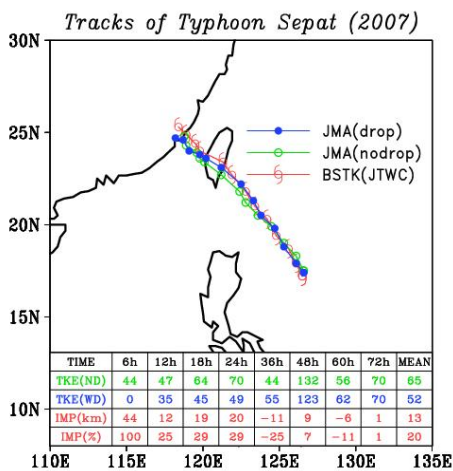


圖 9：聖帕颱風的 JTWC 最佳路徑與 JMA GSM 有無投落送資料實驗的模擬路徑。TKE(ND)為無投落送實驗路徑誤差，TKE(WD)為有投落送實驗路徑誤差，單位，公里。IMP(km)為路徑

誤差減少，單位，公里；IMP(%)為路徑改善率，單位，%。

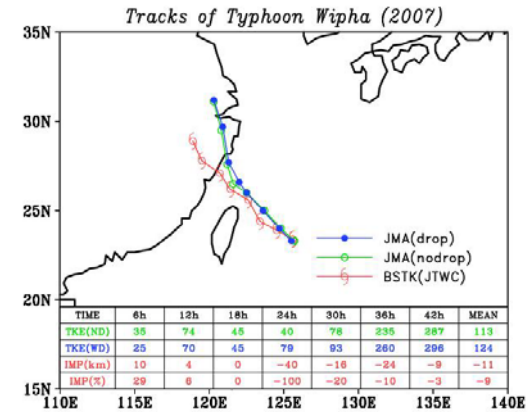


圖 10：韋帕颱風的 JTWC 最佳路徑與 JMA GSM 有無投落送資料實驗的模擬路徑。

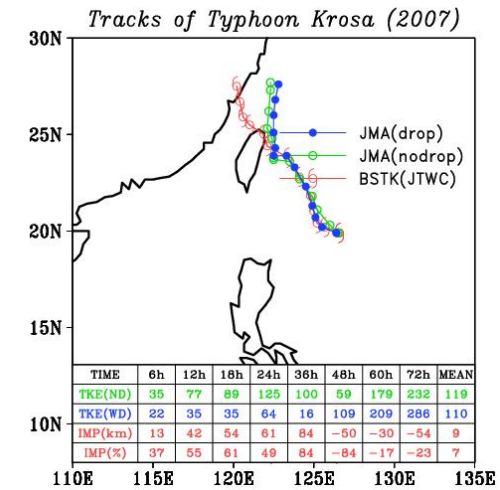


圖 11：柯羅莎颱風的 JTWC 最佳路徑與 JMA GSM 有無投落送資料實驗的模擬路徑。

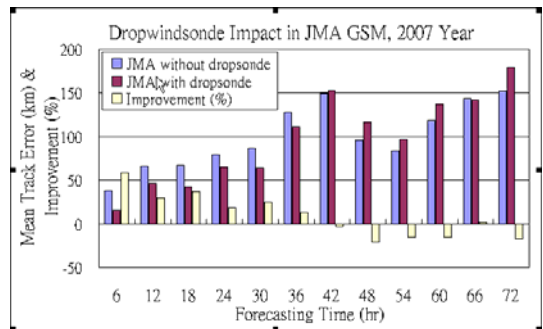


圖 12：JMA GSM 模式於 2007 年所進行投落送資料影響評估實驗的平均路徑誤差及路徑誤差改進率，個案數總共有 3 個。