

投落送觀測資料對杜鵑颱風路徑預報之影響研究-中央氣象局全球預報系統之敏感性實驗

馮欽賜 陳雯美

中央氣象局

摘要

颱風偵察飛機觀測實驗在 2003 年 9 月 1 日針對當時的杜鵑颱風，進行臺灣首次以飛機在高空投擲全球定位系統投落送探空儀之觀測行動。本研究旨在以中央氣象局全球預報系統，探討此批投落送探空資料對杜鵑颱風路徑預報的影響與原因，並且分析使用資料方式與內容的差異下，路徑預報表現的敏感性問題。結果顯示，探空資料對徑預報具有往北修正的作用，絕大數之貢獻來自資料中風的成分，其次，修正程度與資料使用多寡成正比。另一方面，分析資料對初始場颱風環流的影響，發現伴隨著環流的加強與駛流的轉變，其中後者在方向與速度之轉變趨勢，與路徑之修正吻合一致。

一、前言

臺灣地區每年夏秋之際平均會遭遇 3-4 個颱風的侵襲，嚴重威脅人民生命財產及國家經濟發展，為提早防範減少損失，準確的颱風預報資訊是不可或缺的。然而颱風生成及行徑過程絕大多數時間都在海上，在十分缺乏觀測資料的條件下，不僅造成颱風位置及結構研判上的不確定，也同時影響數值模式對颱風路徑的掌握。有鑑於必要取得更多詳細的颱風觀測資料，才能有效強化對颱風環流之瞭解與預報，美國自 1982 年起便例行性地

針對大西洋的颱風(颶風)，使用飛機飛近颱風周圍甚至中心附近投擲投落送(dropsonde)的方式，取得額外的颱風垂直剖面觀測資料，許多的文獻都陸續指出這些投落送資料，對數值預報模式之颱風路徑及強度預報具有改善的效果。由於美國長期以來有關此種飛機觀測實驗的豐富事例，印證其對颱風研究與預報作業具有卓著效益，因而在突破目前國內颱風研究及預報的瓶頸考量下，臺灣首次颱風偵察飛機觀測實驗(代號為追風計畫)，亦在國內學術社群與作業單位的共同合作，以及結合國科會經費的充分支援，從西元 2002 開始著手推動，此項實驗也是將近十六年來西北太平洋地區實施颱風偵察飛機觀測的頭一次(吳等 2004)。

2003 年 9 月 1 日針對當時位於東經 124 度北緯 21 度附近且正逼近臺灣南部而來的杜鵑颱風，追風計畫實現臺灣首次颱風偵察的歷史性飛行任務，飛機行至颱風周圍 41000 英尺上空共投擲十枚全球定位系統(GPS)投落送探空儀，成功獲得詳細垂直分布之氣溫、濕度、高度及風速(向)等寶貴資料，這些資料透由衛星電話線路傳回中央氣象局，除在預報作業上即時地提供颱風結構的瞭解之外，亦納入中央氣象局全球預報系統資料同化過程，利用這些額外的探空資料改善預報模式初始場之颱風環流結構及後續

之路徑預報。當時 GPS 投落送探空資料，離資料同化循環最近之標的時點為該日的 06Z，在同一時間較為接近杜鵑颱風週遭地區可用的傳統觀測資料，除包含零星由日本島嶼及香港施放的高空風探測儀報告之外，其餘多屬於單層觀測資料型態之地面測站或船舶報告、飛機觀測報告與衛星推導風等資料為主（如圖 1 所示），因此這個時點上能對颱風提供實質垂直結構訊息者，僅有此次追風計畫行動所施放的探空資料，經過事後的對照實驗，顯示這些資料透過分析過程對初始場颱風環流的修正，確實提供直接的貢獻並對後續的颱風路徑預報產生影響。有鑑於此，本研究旨在探討此批投落送探空資料對杜鵑颱風路徑預報的影響及成因，並且分析使用資料方式與內容的差異下，對路徑預報表現的敏感性問題。

二、研究方法與資料

我們使用中央氣象局全球預報系統(以下簡稱 GFS)為研究工具，基本上 GFS 可分為全球預報模式及分析模組兩大塊。全球預報模式為典型波譜動力架構，此研究採用 T119L30 之解析度版本，物理參數化之簡介可參考 Liou et al. (1997)。至於資料同化方面，2003 年 GFS 作了兩項重大變動，一是以來自 NCEP 的三維變分法作為新資料同化方法，取代之之前最佳統計內插法，二是取得以往無法獲得的完整衛星輻射量(radiance)觀測資料，並在引進三維變分法的配合下順利納入資料同化中。總括來說，此次變動是近年來 GFS 發展歷程最重要的一次突破，對提升 GFS 的分析場品質及預報表現效益卓著(馮等 2003)。

杜鵑颱風偵察所施放的探空儀，大約繞著當時颱風中心 150 至 300 公里外圍約略勻稱地分布(圖 1)，施放順序是由圖中標示 1 位置順時鐘進行。圖 2 呈現按其順序橫向排開之剖面風場，風場的結構顯示當時杜鵑颱風的氣旋式環流可達 200hPa (這已處於飛行高度所能觀測的頂層)，屬於垂直結構發展相當旺盛的颱風。各個探空剖面之風速(向)在 950hPa 至 400hPa 之間都變化不大，往上層風速才逐漸遞減，不過風速在水平之間則有差別，大約介於 25m/s 至 35m/s，位於北方之探空的風速似乎較南方為強。

本研究為評析探空儀資料對颱風路徑預報之影響來源，以及探討不同的觀測資料使用方式所產生的差異性與敏感性，除了未(全)含探空儀資料之控制實驗(編號 1 及 2)外，另執行六種對照實驗，如表一，其中有關資料使用差異的實驗上，包含三類：(1) 單用探空風場或溫度資料之實驗(編號 3 及 4)，(2) 單用 500hPa 高度以下或以上探空資料之實驗(編號 5 及 6)，(3) 探空資料個數差異之實驗(編號 7 及 8)。所有測試均是 9 月 1 日 06Z 個案，並使用 00Z 的 GFS 六小時預報為資料同化時之猜測場，此猜測場所對應的杜鵑颱風環流預先做過中心位置之平移(relocation)處理(同 NCEP GFS 作法，Liu et al. 2000)。此外資料同化都未另外加入虛擬颱風人工資料。

三、結果分析與討論

關於颱風路徑預報的影響如圖 3 所示，前述三類的測試分列於圖 3(a) 至 3(b)，並且對照未(全)使用之測試結果。未使用探空資料之原颱風路徑預報呈偏南走向並且速度過慢，計算路

徑預報誤差主要源自後者的貢獻。在納入此批資料後颱風路徑預報立即往北修正，惟過多反產生偏北誤差，而速度似乎更慢些。進一步探究資料中究竟是風或是溫度的成分對此結果的影響較大，依據實驗 3 與 4 的對照，可知風場顯然才是發揮資料效應的主要因素。其次，以 500hPa 作上下層資料使用區分，測試其對路徑預報的變化，發現少了上(下)層資料，影響幅度大體折半，其中 500hPa 以下資料的影響較具優勢，這與資料大多只在 200hPa 以下，而且 950hPa 至 400hPa 是風場分布最強的地方(圖 2)，因此較凸顯下層資料的效應有關。同樣地，影響效應的遞減現象也出現在資料使用個數減少之測試(圖 3(c))，個數與影響程度成正比，實驗 7 與 8 的探空使用數目僅差別一個，其產生影響效應的強弱不同依然可見。

基本上，預報路徑的變化與加入資料後產生模式初始場颱風環流的改變息息相關。分析這個問題，初始場有兩方面較明顯的變動值得被提出。首先，探空觀測的風速遠大於資料同化時猜測場的對應風速，加上探空儀大致勻稱環繞颱風中心的特徵，因而加入探空資料的第一個作用便是增強初始場颱風所對應的氣旋式環流。圖 4 為各實驗在 850hPa 沿颱風半徑的切線風速分布，總括而言凡探空資料的效應越明顯氣旋式環流越強，中心海面氣壓值就越低(表一)。圖 5 以未加入及加入探空的測試作對比，顯示兩者垂直層平均(Deep Layer Mean, 9250hPa 至 200hPa 之間)風場的水平差異，可發現資料效應反映在初始場中氣旋式風場的增加，可達颱風中心半徑 5 度以上範圍，不過增量並不均勻，修正最

顯著的區域位於中心之第三及第四象限。其次，可察覺初始場垂直平均的氣旋中心，在加入資料後有往北移動更接近颱風中心的現象，這與初始場颱風環流加深且中心軸被拉直有關。第二方面，是關於初始場颱風環流內含駛流的變動，文獻已指出駛流是影響颱風移動極為關鍵的因素。駛流未有明確的定義，此處是以颱風中心半徑 5 度範圍內之 DLM 平均風場作為駛流的診斷，計算結果如表二，表中將颱風 06Z 的移動向量(前後 6 小時位置相減，可代表觀測駛流)一併顯示以便對照。先將未加入資料之駛流與颱風移動向量作一比較，在速度方面與實際預報路徑過慢的誤差一致，至於兩者方向的相對性上則略有誤差但仍屬合理，因此整體而言以此方式計算之駛流，應能相當程度反映模式颱風未來移動之潛勢。分析表二其他實驗駛流方向，相較未加入資料之控制組的改變，亦進一步印證其颱風路徑走向及誤差，與此駛流之相關。結果清楚顯示，駛流方向的轉變程度與路徑北偏強弱相當符合，即使在駛流速度的對照，加入資料使颱風預報速度變得更慢的趨勢也似乎一致。

綜觀前述的分析，影響路徑的來源是以環流結構加強的效應還是以駛流的因素貢獻較大，仍有待進一步確認。不過，從駛流與路徑變化的吻合一致，似乎強力說明探空資料對初始場駛流的影響在決定颱風移動的關鍵性。另外，我們推測初始場駛流的變化趨勢，其實反映著探空資料在同化過程所加諸的某種平均效果，若是如此，則探空儀的投落分佈是否有效反映實際環境的駛流條件就成為極重要的因素，而資料發揮正面成效的程度

亦可能端賴於此。

參考文獻

吳俊傑等人，2004：侵臺颱風之 GPS 投落送飛機偵察觀測實驗(追風計畫)。中華民國氣象學會會刊，第 45 期，2-15。

馮欽賜、陳雯美和黃曉薇，2003：中央氣象局全球預報系統之近況與發展 - 2003 年之報告。天氣分析與預報研討會論文彙編 (2003 年 9 月 15 日-17 日)，321-325。

Liou, C. S. and Coauthors, 1997: The second-generation global forecast system at the Central Weather Bureau in Taiwan. *Wea. and Forecasting*, 12, 653-663.

Liu, Q., T. Marchok, H. L. Pan, M. Bender and S. Lord, 2000: Improvements in hurricane initialization and forecasting at NCEP with global and regional (GFDL) models. *Technical Procedures Bulletin No. 472*. Available at: <http://www.nws.noaa.gov/om/tpb>.

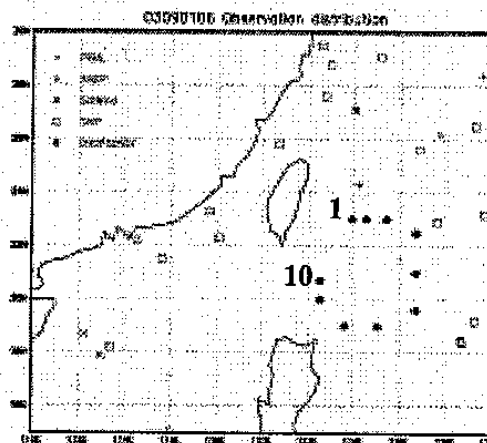


圖 1：GPS 投落送探空儀分布(施放順序由標號 1 順時鐘至標號 10)，以及當時週遭之觀測資料。

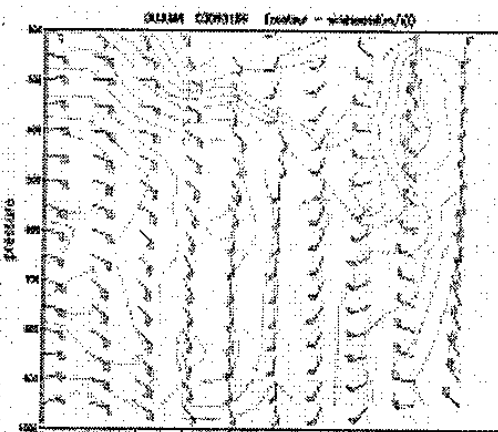


圖 2：GPS 投落送探空儀之風場垂直剖面分布，按施放順序排列。等值線為風速(m/s)。

表一：實驗設計說明及各實驗初始場颱風中心地面氣壓值(hPa)。

實驗代號	說明	初始場颱風中心氣壓值
EXP1(rnodrps)	控制組，未使用 dropsonde 觀測	998.0
EXP2(rdrps)	使用所有 dropsonde 觀測	996.5
EXP3(rdrpsw)	只使用 dropsonde 風之觀測	997.7
EXP4(rdrpst)	只使用 dropsonde 溫度之觀測	996.2
EXP5(rdrps5u)	只使用 dropsonde 500mb 以上各層觀測	997.2
EXP6(rdrps5b)	只使用 dropsonde 500mb 以下各層觀測	996.7
EXP7(rdrpskip1)	dropsonde 每隔一個資料才選用	996.9
EXP8(rdrpskip2)	dropsonde 每隔二個資料才選用	996.9

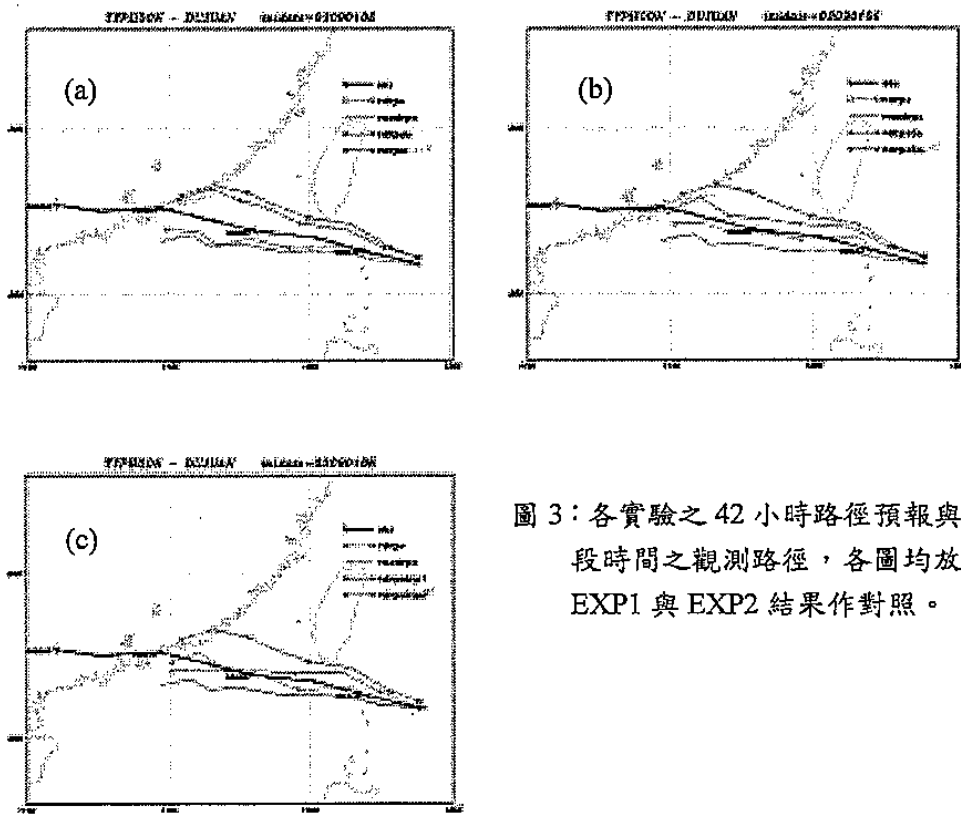


圖 3：各實驗之 42 小時路徑預報與這段時間之觀測路徑，各圖均放置 EXP1 與 EXP2 結果作對照。

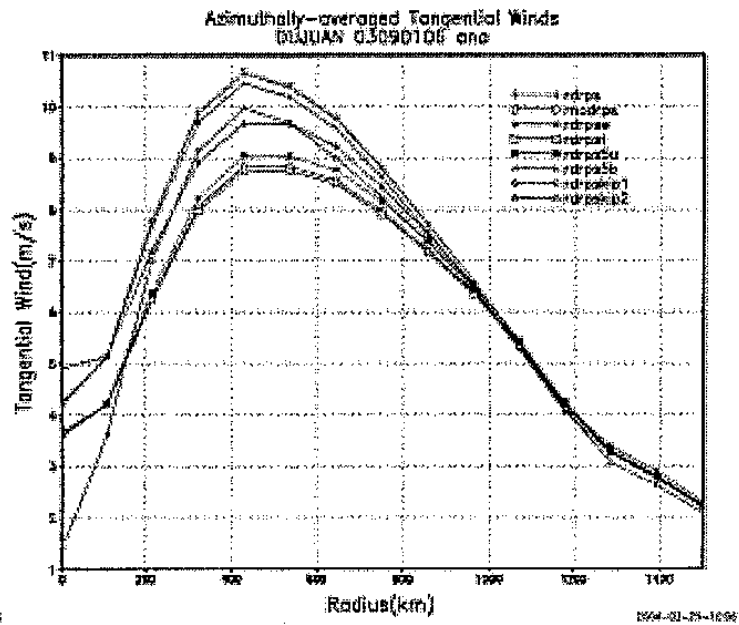


圖 4：各實驗 850hPa 沿颱風半徑的切線風速分布。

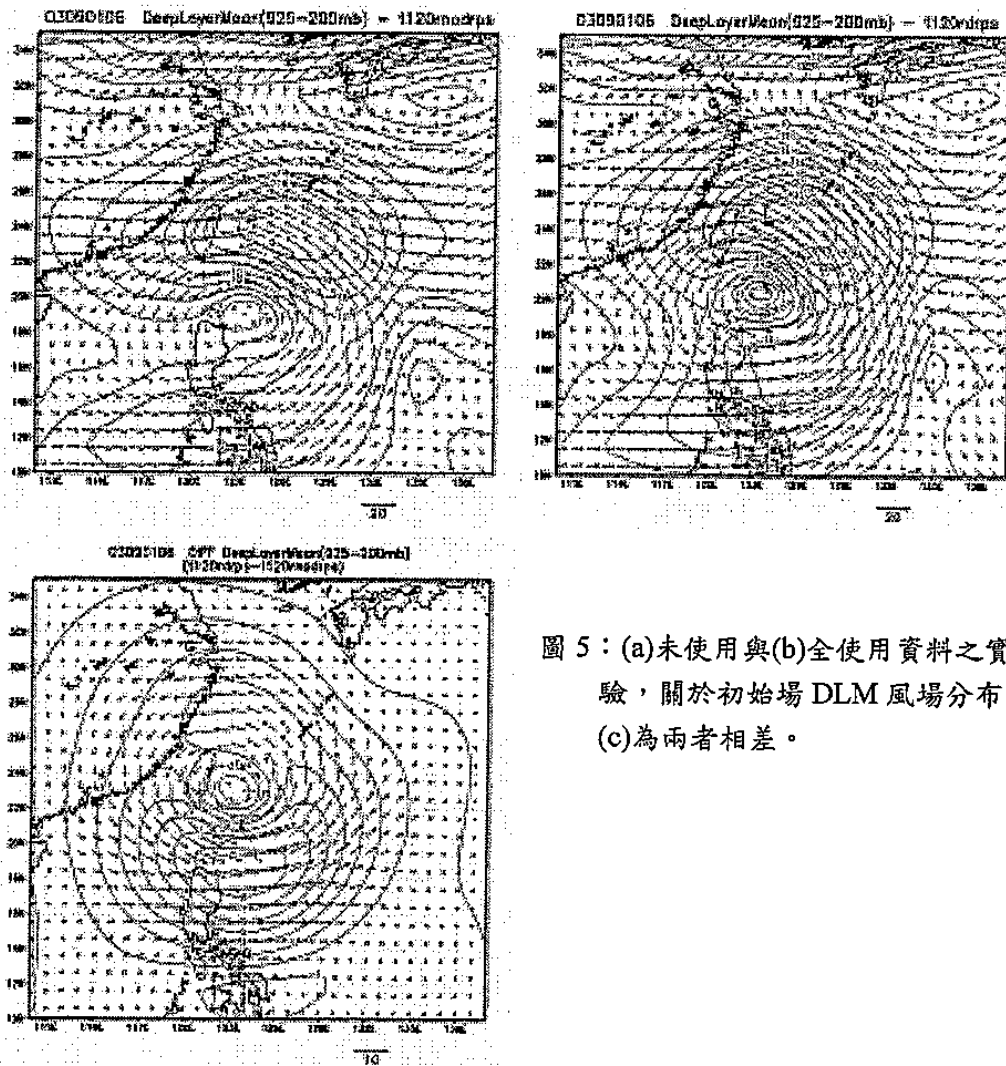


圖 5：(a)未使用與(b)全使用資料之實驗，關於初始場 DLM 風場分布，(c)為兩者相差。

表二：各實驗之駛流(m/s)。以颱風半徑 5 度範圍，依其 DLM 風場計算 U 及 V 平均而求得。觀測值是依前後 6 小時颱風中心位置推算。

	Obs	EXP1	EXP2	EXP3	EXP4	EXP5	EXP6	EXP7	EXP8
Spd	8.03	6.91	4.44	6.58	4.58	5.54	5.44	5.34	5.68
Dir	99.24	106.4	122.53	105.55	122.91	115.57	112.18	117.78	104.77