

「侵台颱風之 GPS Dropsonde 飛機偵察觀測實驗」(追風計畫)與「颱風及海洋物理及生物地球化學交互作用研究」之研究回顧

吳俊傑¹、林博雄¹、林依依¹、葉天降²

¹ 國立臺灣大學大氣科學系

² 中央氣象局

摘要

有鑑於歷年颱風屢屢重創台灣地區造成重大災害 (Wu and Kuo 1999)，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「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。

本文簡介「颱風重點研究」所推動之兩項重要觀測相關研究。一為使用投落送之颱風偵察飛機觀測實驗(代號：追風計畫)；另一為使用先進衛星資料之「颱風及海洋物理、生物及地球化學交互作用研究」。

追風計畫乃是近十六年來西北太平洋地區首次進行的颱風偵察飛機觀測實驗。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。此資料能即時傳輸至中央氣象局資料處理中心，與中央氣象局、美國氣象局、美國海軍、英國氣象局、日本氣象廳之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。在 2004 年，已針對妮妲、康森、敏督利、梅姬、艾莉、米雷以及納坦颱風進行共九次觀測飛行。本計畫將持續針對 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、監測與預報帶來重大突破。

本文亦特別介紹「颱風重點研究」所支持由林依依主導並與筆者合作之「颱風及海洋物理、生物及地球化學交互作用研究」。「颱風及海洋物生地化交互作用」研究乃是國際地球科學界跨領域的一項重大熱門議題，我們透過先進多重遙測技術及模式的整合，獲得有關「颱風引起的生地化反應對海洋初級生產力的影響」及「颱風引起的海洋冷卻

現象反饋調節大氣風場」的新突破，並開啓更多有關颱風及海洋物生地化交互作用之新的科學思維。我們進一步計畫將相關遙測資料及概念及數值模式結合，並擴展至颱風強度及氣候反饋問題，相信會持續在此焦點議題上有更多成績。

A Review on “Dropsonde Observation for Typhoon Surveillance near the TAIwan Region (DOTSTAR)” and “Typhoon-Ocean-Bio-Geochemistry Interaction” Research Projects

Chun-Chieh Wu¹、Po-Hsiung Lin¹、I-I Lin¹、Tien-Chiang Yeh²

¹Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

²Central Weather Bureau

A review is presented on highlights of the two research projects under the “National Priority Research Project”, funded by the National Science Council (NSC) of Taiwan.

In light of the heavy damage done by typhoons to Taiwan year by year, the NSC of Taiwan places a great premium on typhoon research, and therefore provides ample research grant for the "National Priority Typhoon Research" project for the recent three years (from August 1, 2002 to July 31, 2005), especially including the field experiment, "Dropsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region (DOTSTAR)". The DOTSTAR is an international research program conducted by meteorologists in Taiwan, partnered with scientists at the Hurricane Research Division (HRD) and the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). This project marks the beginning of a new era for the aircraft surveillance of typhoons in the western North Pacific.

Built upon work pioneered at NOAA's Hurricane Research Division (HRD), the key to the project is the use of airborne sensors -- GPS dropwindsondes, which are released from jet aircraft flying above 42,000 feet in the environment of a tropical cyclone. These sensors gather temperature, humidity, pressure, and wind velocity information as they fall to the surface. Information from the surveillance flights is transmitted in near real-time to the CWB of Taiwan, as well as to the NCEP, FNMOC, and JMA. The data are immediately assimilated into the numerical models of CWB, NCEP (AVN/GFDL), FNMOC (NOGAPS/COAMPS/GFDN), UKMET, and JMA. The DOTSTAR are expected to provide valuable data which can help increase the accuracy of TC analysis and track forecasts, to assess the impact of the data on numerical models, to evaluate the strategies for adaptive/targeted observations, to validate/calibrate the remote-sensing data, and to improve our understanding on the TC dynamics, especially over the TC's boundary layer.

On September 1, 2003, the first DOTSTAR mission was successfully completed around Typhoon Dujan. On November 2, the second mission was launched while the aircraft flew over the center of Typhoon Melor. Nine more flights have been conducted for Typhoons Nida, Conson, Mindulle, Magi, Aere. Meari, and Nock-Ten in 2004. As the DOTSTAR research team continues to harvest important data and gain valuable experience, we believe that future typhoon observations will reach full maturity, enabling significant progress in both

academic research and typhoon forecasting. It is hoped that DOTSTAR will shed light on typhoon dynamics, enhance typhoon track forecasting accuracy, place Taiwan at the forefront of international typhoon research, and make a significant contribution to the study of typhoons in the Northwestern Pacific and East Asia region.

Regarding the work on the typhoon-ocean-bio-geochemistry interaction, the cooling of the ocean due to the passage of typhoons has been documented from satellite-retrieved SST data. The response to the wind change has also been demonstrated. Meanwhile, a striking interdisciplinary issue on the dramatic bio-response and ocean primary production due to typhoons has also been raised. Inspired by our recent observations, we are developing and using typhoon-ocean coupled models to understand the role of the ocean mixed-layer structure (including typhoon-induced SST cold wake, warm ocean eddies, and ocean currents) on the typhoon-ocean interaction problems and their feedback to the climate and biogeochemistry.

一、「追風計畫」研究背景

美國東南沿岸人口密集，每到夏日，更是度假勝地，遊客如織。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、溫度場及濕度場剖線。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 (見圖一) 資料對於 GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 颶風模式針對大西洋颶風 48 小時路徑及強度預報，可分別改進達 32% 及 20% (Aberson and Franklin 1999)。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颶風環境與結構的瞭解，及改進颶風數值預報之潛在價值。

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地區颶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颶風進行 GPS 飛機觀測實驗之先期研究 (pilot study)，以期取得判別颶風強度的指標及影響颶風移動之關鍵氣象資料；並透過模式探討影響颶風路徑之氣象因子的時空分佈，進而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技術與能力之提昇，增加侵台颶風預報之準確度。此研究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颶風飛機觀測之先驅，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，因此可謂扮演颶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颶風偵察飛機觀測實驗。研究人員可直接飛行到接近台灣的颶風周圍上空，投擲 GPS 投落送，藉此取得颶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，除可增進對颶風結構的瞭解外，亦能有效改進颶風路徑、強度及風雨分布的預報。

目前整個颶風偵察飛機觀測實驗已正式展開作業 (實驗架構見表一); 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 研究團隊名單見表二)，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。

整個研究分兩個方向進行：一為飛機觀測事宜，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，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。

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。

考察人員回國後，追風計畫即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、與中央氣象局合作進行模式同化及分析事宜、RD93 GPS Dropsonde 的採購，期間更有 NCEP 的潘華陸博士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 (圖二)，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 (吳等、2003)。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。

二、「追風計畫」觀測成果

2003 年 9 月 1 日追風計畫正式起飛，針對杜鵑颱風進行歷史性的首航。此任務在獲得台灣、日本及菲律賓等國民航單位核定許可後，以漢翔公司 ASTRA 噴射機 (Gulfstream -100 改良型，圖三) 搭載台灣大學大氣科學系林博雄教授及中央氣象局洪景山博士兩位科學家於四萬一千英尺的高空，按照既定飛航路徑 (圖四) 於颱風周圍投下十一枚投落送探空儀，蒐集由高空到海面的氣溫、溼度、氣壓及風速等數據資料，機組人員再利用衛星電話將所得資料即時傳輸至中央氣象局。這些颱風環境偵察資料立即運用於中央氣象局的電腦預報與分析系統，成為分析及預報颱風暴風半徑與結構的重要參考依據。

根據所得資料分析顯示 (圖五)，杜鵑颱風從 925 hPa~200 hPa 皆為一氣旋式環流結構，顯示出其垂直結構發展相當旺盛。此外，我們也利用此資料來與 QuikSCAT 和 satellite-derived wind 進行觀測風場的驗證及比較的工作 (圖六、圖七) (Wu et al. 2004)。

至於對於氣象局和 AVN 模式的影響方面，圖八顯示 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差異。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，對於預報結果的改進也有所不同（圖九）。以 AVN 模式而言，若以 9 月 1 日 0600 UTC 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 1200 UTC 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。

追風計畫更於 2003 年 11 月 2 日針對罕見之 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（圖十），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。

由所獲得的資料分析顯示（圖十一），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（圖十二）。而圖十三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，圖十三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。

2003 年度由於侵台颱風個數較少，且因為部分航管限制，影響觀測總次數。主持人吳俊傑與林博雄協同漢翔公司 Astra 飛機之總機師曹家祥，已於 2003 年 12 月 1 日赴日本民航局協商航管事宜，並獲得初步航管突破，預計在未來颱風季得以更有彈性地進行飛行觀測任務。透過杜鵑颱風及米勒颱風上述兩次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進行此一重大颱風偵察觀測計畫。（註：在本文發表此時，追風計畫已針對杜鵑、米勒、妮妲、康森、敏督利、梅姬、艾利、米雷及納坦等 9 個颱風完成 11 航次之飛機偵察及投落送觀測任務，總計在颱風上空飛行 53 小時、並投擲 179 枚投落送。此部份研究成果在未來將另文發表。）

三、颱風及海洋物，生化交互作用

『颱風及海洋物，生化交互作用』之研究，由國科會颱風重點研究計畫與國家海洋科學研究中心共同合作，在執行一年後，近來獲得顯著的成果。本研究整合先進的多重遙測技術與模式，利用時間序列的觀測資料，以解決過去在颱風期間由於觀測上的極度困難，而一直無法量化處理的科研議題。

除計畫主持人林依依及共同主持人吳俊傑外，研究團隊亦涵蓋臺灣及美國的知名科學家，其中包括：美國太空總署噴射推進實驗室(NASA/Jet Propulsion Lab)之資深科學家 Dr. W. Timothy Liu、美國老道名大學 (Old Dominion University) 黃天福教授、美國南佛羅里達大學 (University of South Florida) 胡傳民博士、美國加州大學柏克萊分校教授 John Chiang、中央大學水文所劉康克教授及隋中興教授、海軍軍官學校海洋科學系梁文德教授、國家海洋科學研究中心博士後研究員楊益博士等。

此研究於 2002 年 12 月獲邀在 American Geophysical Union Fall meeting (美國地科協會秋季年會) 發表，相關新聞亦見於 CNN、美聯社及國家地理雜誌等媒體的報導。此研究成果極受科學界重視，兩篇相關論文分別在 2003 年 2 月及 7 月由國際科學期刊 Geophysical Research Letters 刊登，並在 3 月 13 日及 8 月 7 日獲國際知名之 Nature 雜誌報導，相繼引起各界的注目。以下即針對上述研究成果進行扼要介紹。

颱風與海洋之間的物理、及生物地球化學交互作用之相關機制及過程極為複雜及多元，其變化的速率也極為快速。雖然這可能是氣候及環境變遷領域中可能的關鍵性重要科研議題，但在台灣的相關研究卻仍相當有限。目前在這個課題上最大的挑戰在於定量理解這些物理、及生物地球化學的耦合系統 (coupling system) 之交互作用 (interaction) 及反饋 (feedback)。欲進行定量研究，足夠的觀測資料為其先決條件。遺憾的是，定點船測資料無法提供足夠之空間與時間上的觀測，來描述這些變化快速的物，生化海氣過程及機制。我們亟需一整套系統化、並能同時及同地測量之完整物，生化參數。隨著遙測科學及技術的進步，達成一定程度之上述觀測目標已為可行。

我們的重點在利用先進(advanced)遙測技術的整合(synergy)，來解決具科學挑戰性但過去無法探討的問題。在過去的一年裡，我們針對兩項科研議題進行研究，並獲得相當具有突破性的成果。

議題一：颱風引起的生化反應對海洋初級生產力的影響

海洋初級生產力是地球氣候及環境系統的重要部份，其中一個主要的課題就是探討颱風對海洋初級生產力的影響。因為海洋中的浮游生物會影響海洋吸收大氣中二氧化碳的效率，而二氧化碳為重要的溫室效應因子。過去對於這方面的研究非常困難。關於颱風是否為一個可能引起海洋初級生產力增加的機制，有很多的猜測。因為颱風的強風能使海洋中富含營養鹽的深層水，上移至富有充足陽光的表層水行光合作用，而增進初級生產力。但是，過去測量海洋初級生產力一般主要依賴船測，而傳統的船測方式無法在颱風期間作業，或在是颱風過後的幾天內即時趕到現象發生的現場進行觀測。

因此對於颱風引起的生化反應及初級生產力，一直無法實施有系統的量化研

究。隨著衛星遙測技術的進步，利用先進多重遙測技術及模式的整合，我們已能突破這些瓶頸。使用 TRMM(Tropical Rainfall Measurement Mission)衛星 TMI(TRMM Microwave imager)設備，將穿透雲的微波表水溫資料，NASA QuikSCAT 海水表面風場、NASA SeaWiFS 水色資料與海洋模式配合，發現了颱風對南中國海初級生產力的顯著影響。

颱風可能每年提供南海 20-30%初級新生產力：

此研究發現(如圖十四)，2000 年 7 月中度颱風啓德在南海短暫停留三天的期間，引起海中強烈的湧昇(upwelling)現象(如圖十五)，使海平面 50 公尺以下寒冷及富含營養鹽的海水上升到海面，使得賴以營養鹽維生的浮游植物數量遽增，造成葉綠素濃度增加 30 倍，年度新生產力增加 2-4 %，同時海表水溫度下降 9°C 之劇。

TRMM 衛星穿透雲的微波表水溫資料顯示，颱風啓德經過前(2000 年 7 月 1-3 日平均圖，圖十四 a)，南海表面為 30-31°C 的暖水所覆蓋。但在啓德颱風經過(2000 年 7 月 4-8 日)後(2000 年 7 月 9 日)表水溫下降至 21-23°C(圖十四 b)，有 9°C 的劇烈表水溫下降。圖十四 c 顯示此冷水團在一週後(2000 年 7 月 12-14 日)逐漸消失，但仍有 25-26°C 左右的低溫。圖十四 d 為 NASA SeaWiFS 水色衛星，顯示颱風來前(2000 年 6 月 27 日至 7 月 4 日平均圖)南海葉綠素甲(chlorophyll-a)濃度為典型的夏季低值，約為 0.1mg/m³，但在颱風過後，暴風圈內之葉綠素濃度即暴增至 3-10 mg/m³，有 30-100 倍之劇烈增加。圖十四 f 為沿著圖 1a、1b、1c 之紅橫線之表水溫變化並與氣候平均值(藍線)的比較。圖十四 g 為葉綠素中沿著 1d 及 1e 之黃橫線與氣候平均值(藍線)之比較，顯示颱風所引起的巨大變化。

圖十五顯示以 NASA QuikSCAT 颱風風場資料所算出的湧昇速率，顯示在啓德經過的區域(117-120°E，19-20.5°N)有強烈的湧昇流，上升速度約為 30-40*10⁻⁴ m s⁻¹。

以此結果推測，以南海每年平均有 14 個熱帶氣團或颱風經過，對南海年度新生產力可能的貢獻可達 20-30% 之多。如此顯著的影響，長久以來科學家卻因缺乏資料數據，而忽略不計。以上研究見詳見 Lin et al. (2003b)及 **Nature news and views in brief** (2003 年 8 月 7 日)。

議題二：颱風冷卻海面的同時，每 1°C 減弱每秒 1 米(1m/s)的風速

另一個研究課題則是探討颱風過後的後續海氣交互作用過程(如圖十六及圖十七)。圖十六顯示啓德颱風經過前(圖十六 a)及後兩週間(圖十六 b-e)，之 TRMM 衛星所觀測到的海水溫度變化，顯示颱風引起之冷水團(118-120°E，19-20.5°N，2000 年 7 月 11 日)由 21°C 之低溫(圖十六 b)漸漸回復至較溫暖(20°C)的狀態(圖十六 e，2000 年 7 月 19 日)。

圖十七則為對應圖十六的 NASA QuikSCAT 風速圖，顯示在颱風來前(圖十七 a)，邊界層風速與水溫並無明顯的相關性，但在颱風過後(圖十七 b-e)，即可見在颱風引起之冷水團(118-120°E，19-21°N)上方風速比周圍顯著減弱。

總之，熱帶海洋供給颱風生成的能量，當颱風形成後又作用(impact)於熱帶海洋，將深層的冷海水帶至海洋表面，引起海水表面溫度的降低，衛星觀測發現此冷卻現象可達攝氏 6 度(°C)之劇，而颱風離開後此冷卻現象繼續留在海面上慢慢消失，整個過程可達兩週。此論文發現，這種颱風引起的海洋冷卻現象會再度反饋至大氣，而形成大氣邊界層風速的顯著減弱。分析兩個不同颱風個案，發現有其共同性，即 1°C 海表溫的冷卻，可以造成風速每秒 1 米(1m/s)的減弱。以上研究見 Lin et al. (2003a)及 Nature news and views in brief (2003 年 3 月 13 日)。

四、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。本文簡介國科會所支持的重大颱風基礎學術研究計畫—「颱風重點研究」，特別是其中所推動之兩項重要觀測相關研究。一為使用投落送之颱風偵察飛機觀測實驗(代號：追風計畫)；另一為使用先進衛星資料之「颱風及海洋物理、及生物地球化學交互作用研究」。

我們預計透過此三年的大型研究，建立國內在颱風觀測、數值模擬同化、颱風及海洋物生地化交互作用研究之重要基礎，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居領導地位；另一方面於追求卓越學術研究之際，也將協助颱風預報之改進，我們也相信此研究計畫成果可望為颱風動力研究及颱風監測與預報帶來前瞻性突破。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前處長的鼎力支持，另承蒙行政院蔡清彥前政務委員、中研院劉紹臣教授、中央氣象局謝信良前局長及海科中心劉康克教授與劉家瑄教授協助與指導，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

- 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 Omega dropwindsondes 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.
- Lin, I.-I., W. T. Liu, C.-C. Wu, J. C. H. Chiang, and C.-H. Sui, 2003a: Satellite observations of modulation of surface winds by typhoon-induced ocean cooling. *Geophys. Res. Lett.*, **30** (3), doi:10.1029/2002GL015674.
- Lin, I.-I., W. T. Liu, C.-C. Wu, G. Wong, C. Hu, Z. Chen, W.-D. Liang, Y. Yang, and K.-K. Liu, 2003b: New evidence for enhanced ocean primary production triggered by tropical cyclone. *Geophys. Res. Lett.*, **30** (13), 1718, doi:10.1029/2003GL017141.
- Tuleya, R. E., and S. J. Lord, 1997: 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, 2004: Dropsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region (DOTSTAR): An overview. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* (in press).
- 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。

圖表說明

表一、侵台颱風之 GPS Dropsonde 飛機偵察觀測實驗架構

表二、Dropsonde 任務執行/研究團隊

圖一、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，可以度量大氣之氣壓、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。(資料來源：NCAR)

圖二、機上電腦系統及投落送探空儀及其訊號接收系統設備圖。

圖三、漢翔公司 Astra 飛機空中英姿，圓圈處即為投擲之 dropsonde (漢翔公司提供)。

圖四、「追風計畫」首航杜鵑颱風之飛行路徑圖〈由點 1 至點 15，再回到 1，順時針方向飛行〉。圓圈代表各個投落送之釋放位置。

圖五、GPS dropsondes 所測得杜鵑颱風周圍 925hPa~200hPa 的實際風場。

圖六、杜鵑颱風之 GPS dropsondes 風場與 QuikSCAT 風場比較。

圖七、杜鵑颱風之 GPS dropsondes 風場與 Satellite wind 的比較。

圖八、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。

圖九、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。

圖十、飛行期間所攝得米勒颱風之中心。

圖十一、GPS dropsondes 所測得米勒颱風中心及其附近之 925hPa~200hPa 的實際風場。

圖十二、米勒颱風之 GPS dropsondes 風場與 QuikSCAT 風場比較。

圖十三、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)。(摘自 Wu et al. 2004)

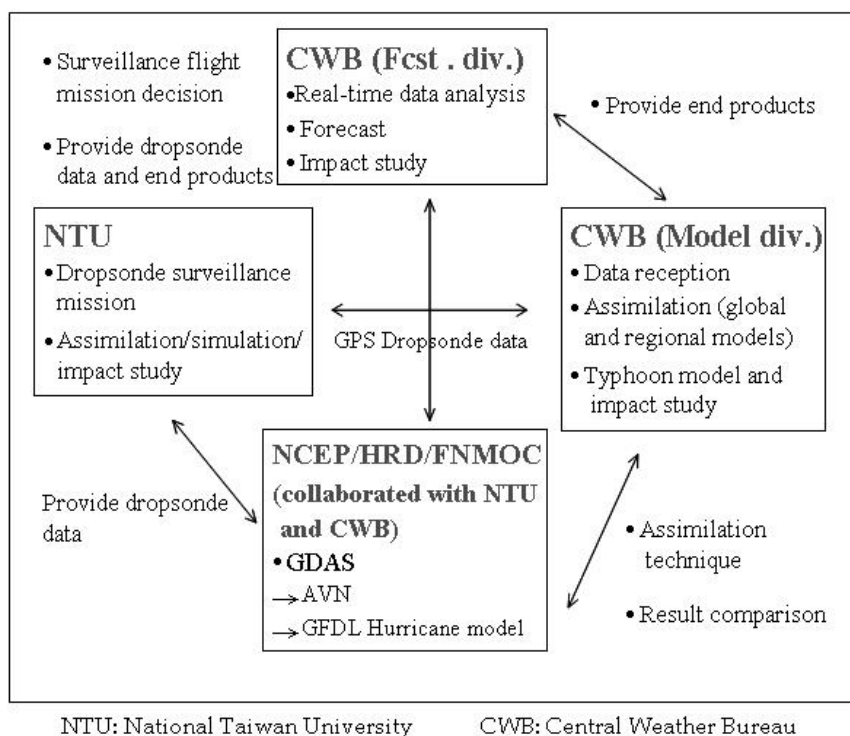
圖十四、TRMM 衛星穿透雲的微波表水溫資料顯示，颱風啓德經過前(2000 年 7 月 1-3 日平均圖，圖十四 a)，在啓德颱風經過(2000 年 7 月 4-8 日)後(2000 年 7 月 9 日)(圖十四 b)，及在一週後(2000 年 7 月 12-14 日)。圖十四 d 為 NASA SeaWiFS 水色衛星，顯示颱風來前(2000 年 6 月 27 日至 7 月 4 日平均圖)南海葉綠素甲(chlorophyll-a)濃度值(單位為 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$)，圖十四 e 為颱風過後，暴風圈內之葉綠素濃度值，有 30-100 倍之劇烈增加。圖十四 f 為沿著圖 1a、1b、1c 之紅橫線之表水溫變化並與氣候平均值(藍線)的比較。圖十四 g 為葉綠素中沿著 1d 及 1e 之黃橫線與氣候平均值(藍線)之

比較。(摘自 Lin et al. 2003b)

圖十五、以 NASA QuikSCAT 颱風風場資料所算出的湧昇速率(單位為 10^{-4} m s^{-1})。(摘自 Lin et al. 2003b)

圖十六、如圖十四 a 至圖十四 c 所述，顯示啓德颱風經過前(圖十六 a)及後兩週間(圖十六 b-e)，之 TRMM 衛星所觀測到的海水溫度變化(陰影)及 NASA QuikSCAT 風場向量圖。(摘自 Lin et al. 2003a)

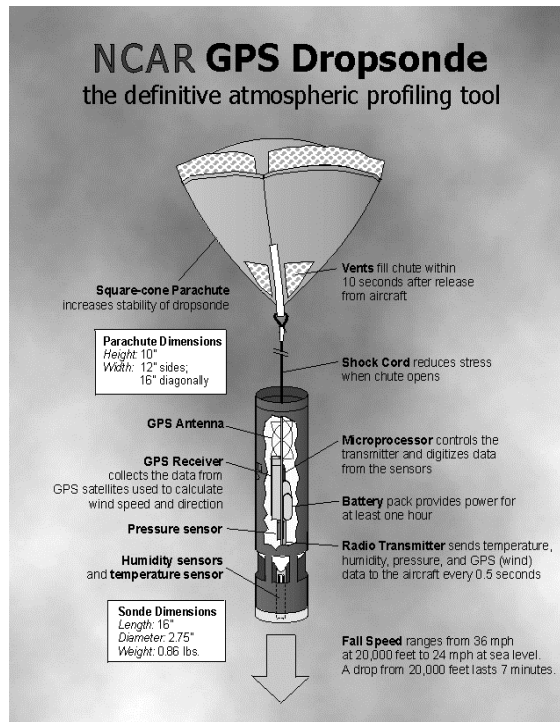
圖十七、對應圖十六的 NASA QuikSCAT 風速(陰影)及海水溫度分佈圖(等值線)。(摘自 Lin et al. 2003a)



表一、侵台颱風之 GPS Dropsonde 飛機偵察觀測實驗架構

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、林依依、徐仲毅、周昆炫、徐光前、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、簡國基</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：Tetsuo Nakazawa (MRI), Yoshio Kurihara (Frontier), N. Mannoji (JMA)</p>
參與單位	台大、中央氣象局、漢翔、民航局、空軍、中大、文大、HRD, NCEP, GFDL, NCAR, FNMOC, MRI, JMA, MIT, IPRC, NCSU

表二、Dropsonde 任務執行/研究團隊



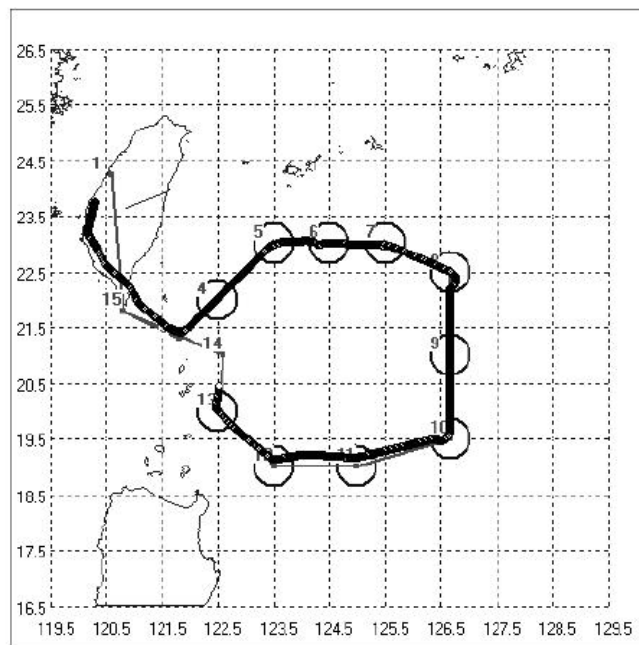
圖一、美國國家大氣研究中心研製成功最新型機載投落探空儀 (dropsonde)。此一設備可由飛機載至氣象資料嚴重缺乏之海洋上空投下，可以量度大氣之氣壓、溫度、濕度、以及水平風速風向之垂直分佈，對於改進颱風路徑和強度之數值模擬預報準確度可扮演重要角色。(資料來源：NCAR)



圖二、機上電腦系統及投落送探空儀及其訊號接收系統設備圖。

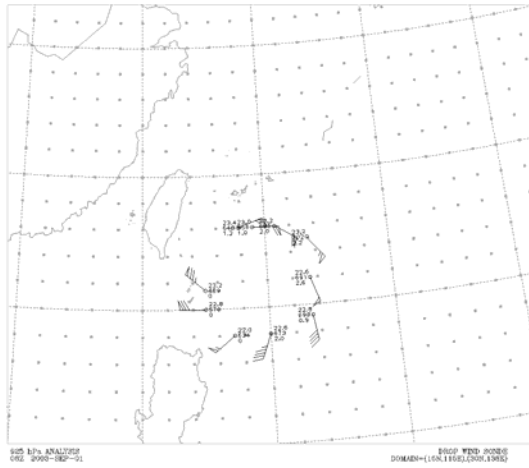


圖三、漢翔公司 AstrA 飛機空中英姿，圓圈處即為投擲之 dropsonde。

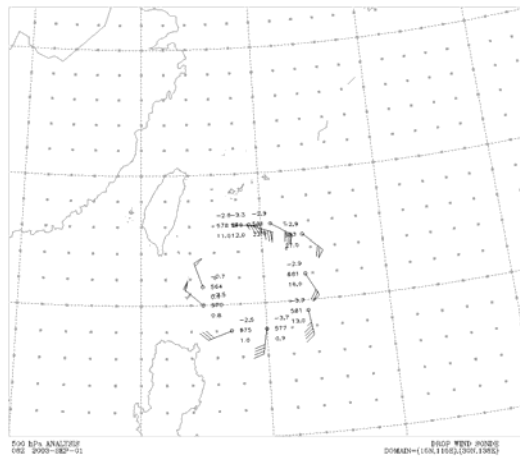


圖四、「追風計畫」首航杜鵑颱風之飛行路徑圖〈由點 1 至點 15，再回到 1，順時針方向飛行〉。圓圈代表各個投落送之釋放位置。

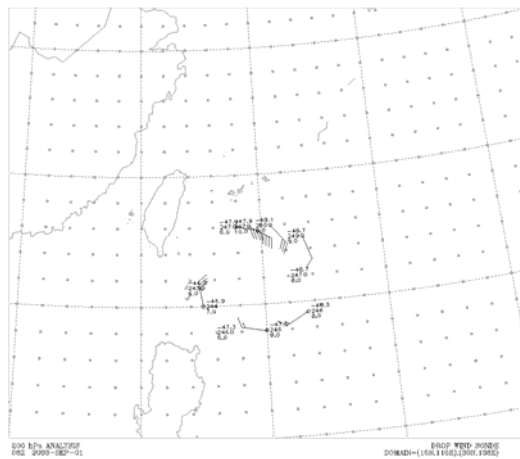
925-hPa wind



500-hPa wind

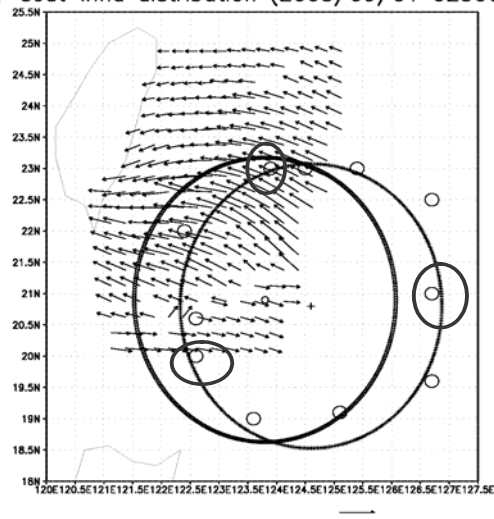


200-hPa wind



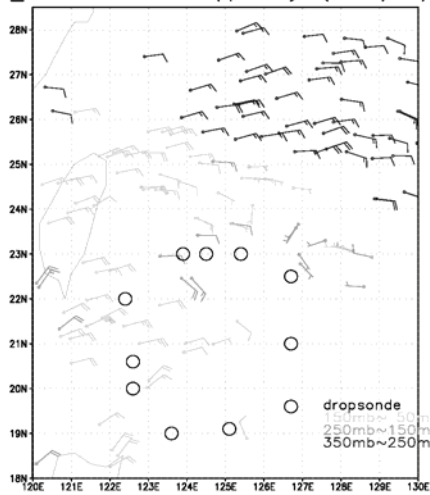
圖五、GPS dropsondes 所測得杜鵑颱風周圍 925hPa~200hPa 的實際風場。

Q-scat wind distribution (2003/09/01 0230UTC)

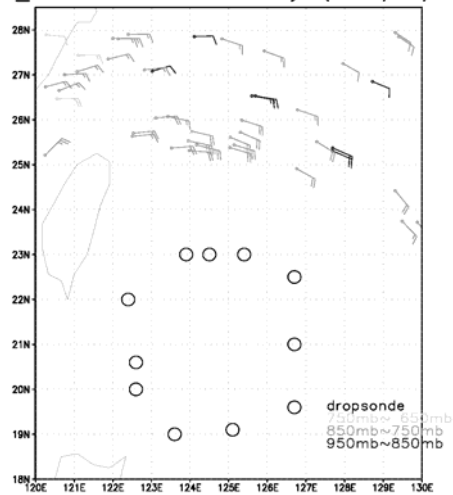


圖六、杜鵑颱風之 GPS dropsondes 風場與 QuikSCAT 風場比較。

sat_wind distribution upper layer(2003/09/01)

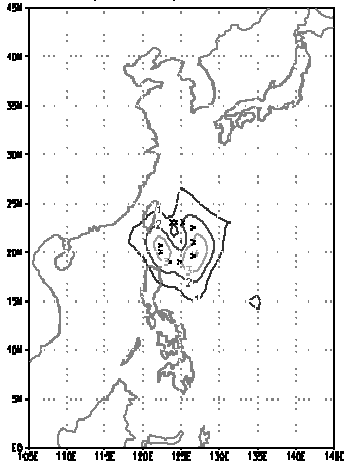


sat_wind distribution lower layer(2003/09/01)



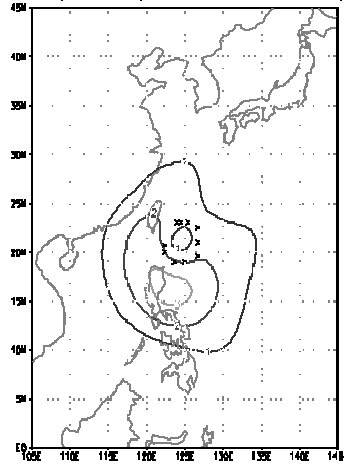
圖七、杜鵑颱風之 GPS dropsondes 風場與 Satellite wind 的比較。

DLM wind alldrop-nodrop 2003090106 00h (AVN)



0402 02A/02E

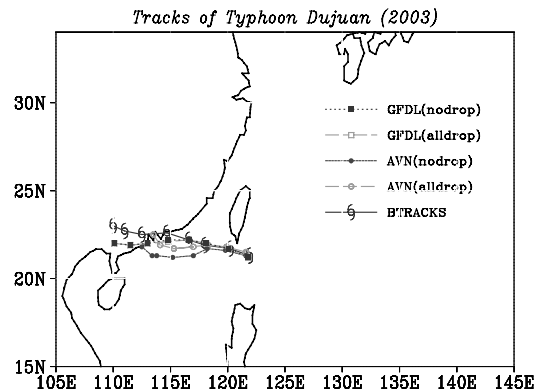
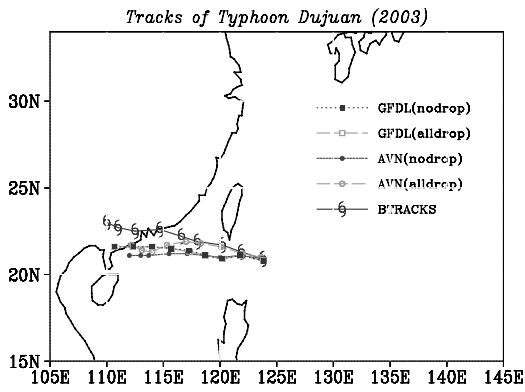
DLM wind alldrop-nodrop 2003090106 00h (CWB 3DVAR)



2003090106/02E

2003-09-23-11 21

圖八、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。



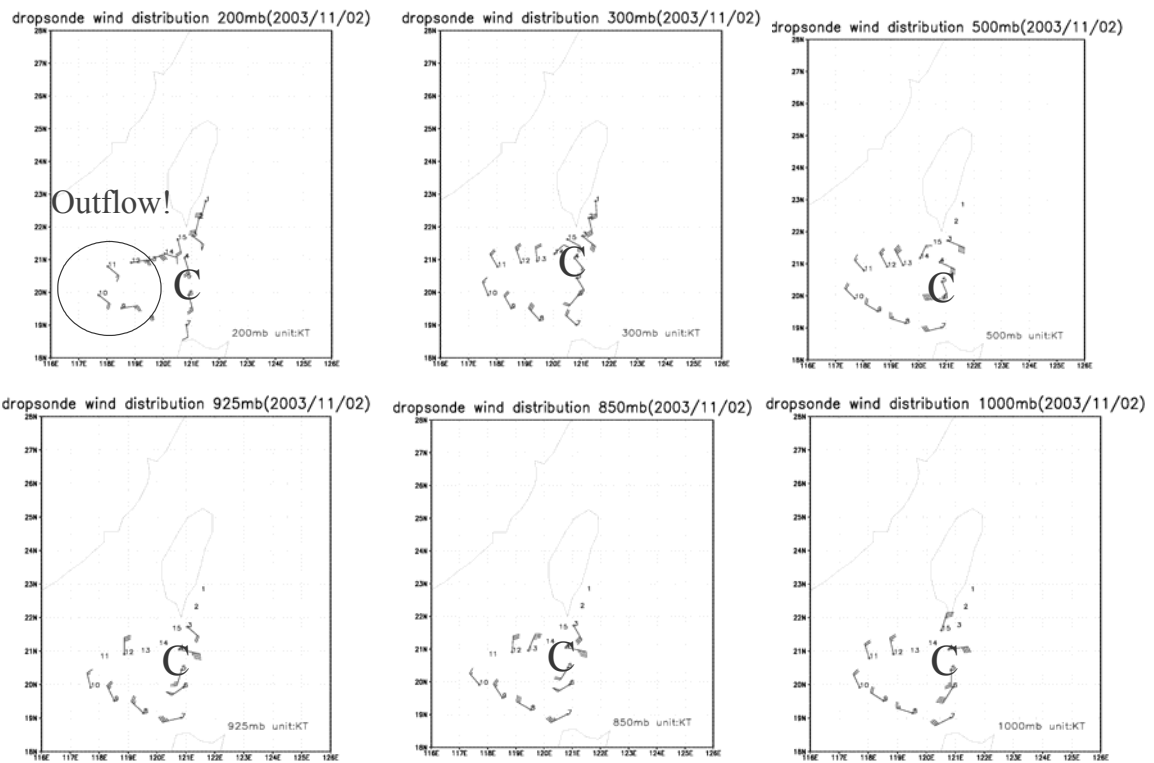
模擬時間(hr)	6	12	18	24	30	36	42	48
AVN (alldrop)	15	15	33	53	118	204	260	268
AVN (nodrop)	22	81	108	123	176	199	272	295
AVNIMPRV (%)	32%	81%	69%	57%	33%	-3%	4%	9%
GFDL (alldrop)	25	89	115	123	160	184	181	172
GFDL(nodrop)	25	89	115	115	160	184	189	172
GFDL IMPRV (%)	0%	0%	0%	-7%	0%	0%	4%	0%
模擬時間(hr)	6	12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

圖九、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

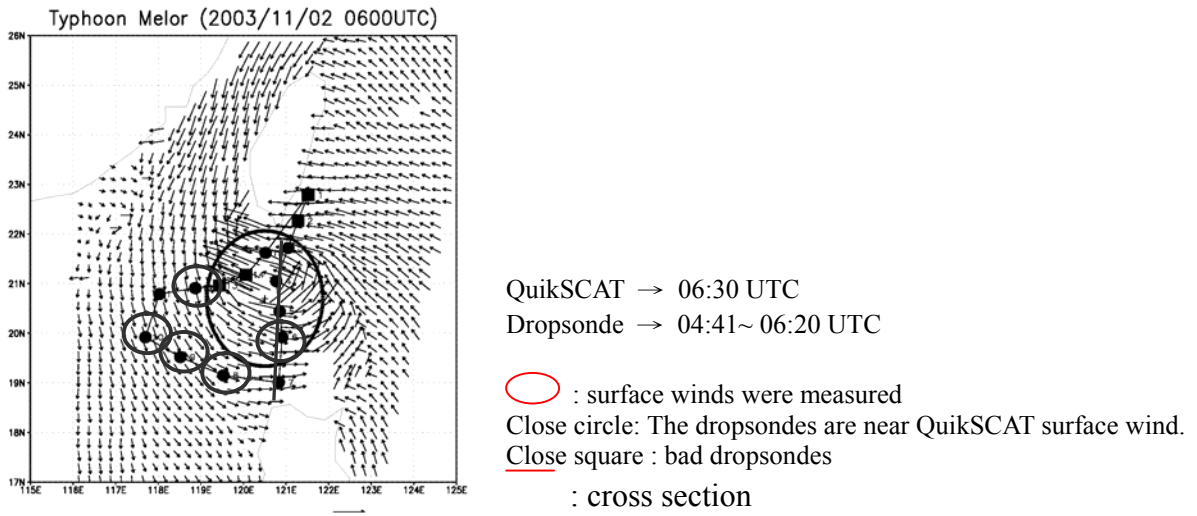
對其路徑的改進情形。



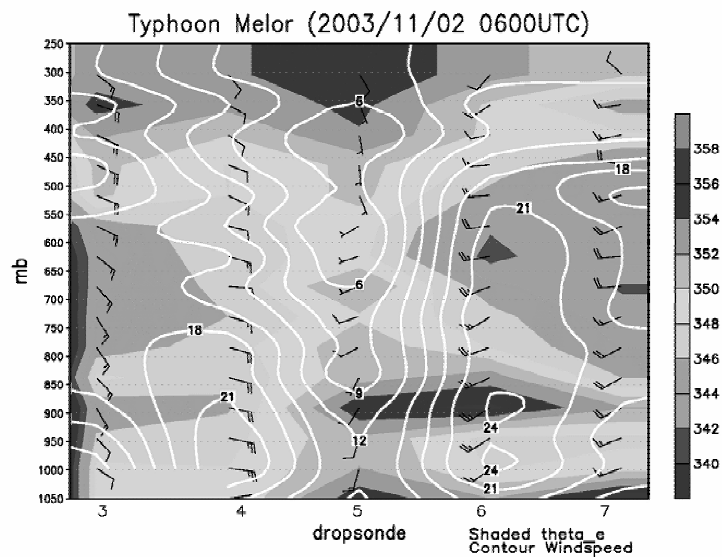
圖十、飛行期間所攝得米勒颱風之中心。



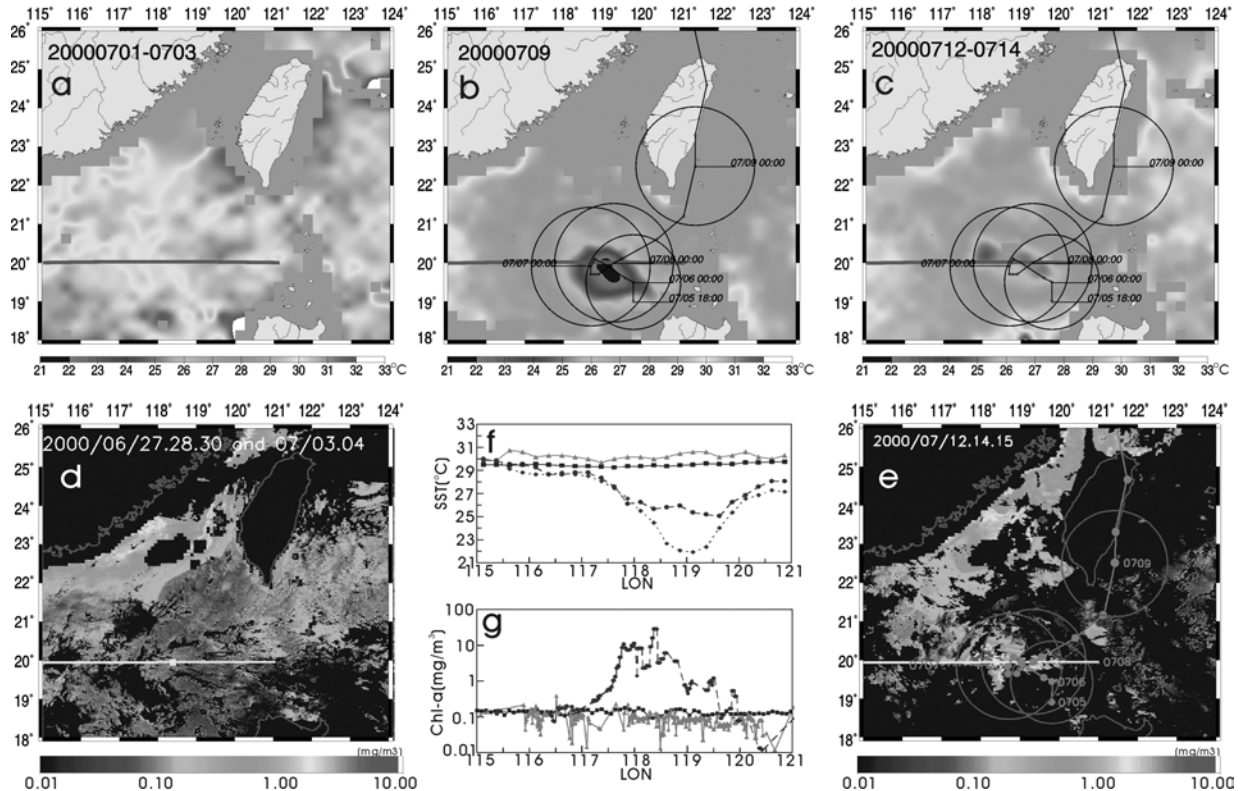
圖十一、GPS dropsondes 所測得米勒颱風中心及其附近之 925hPa~200hPa 的實際風場。



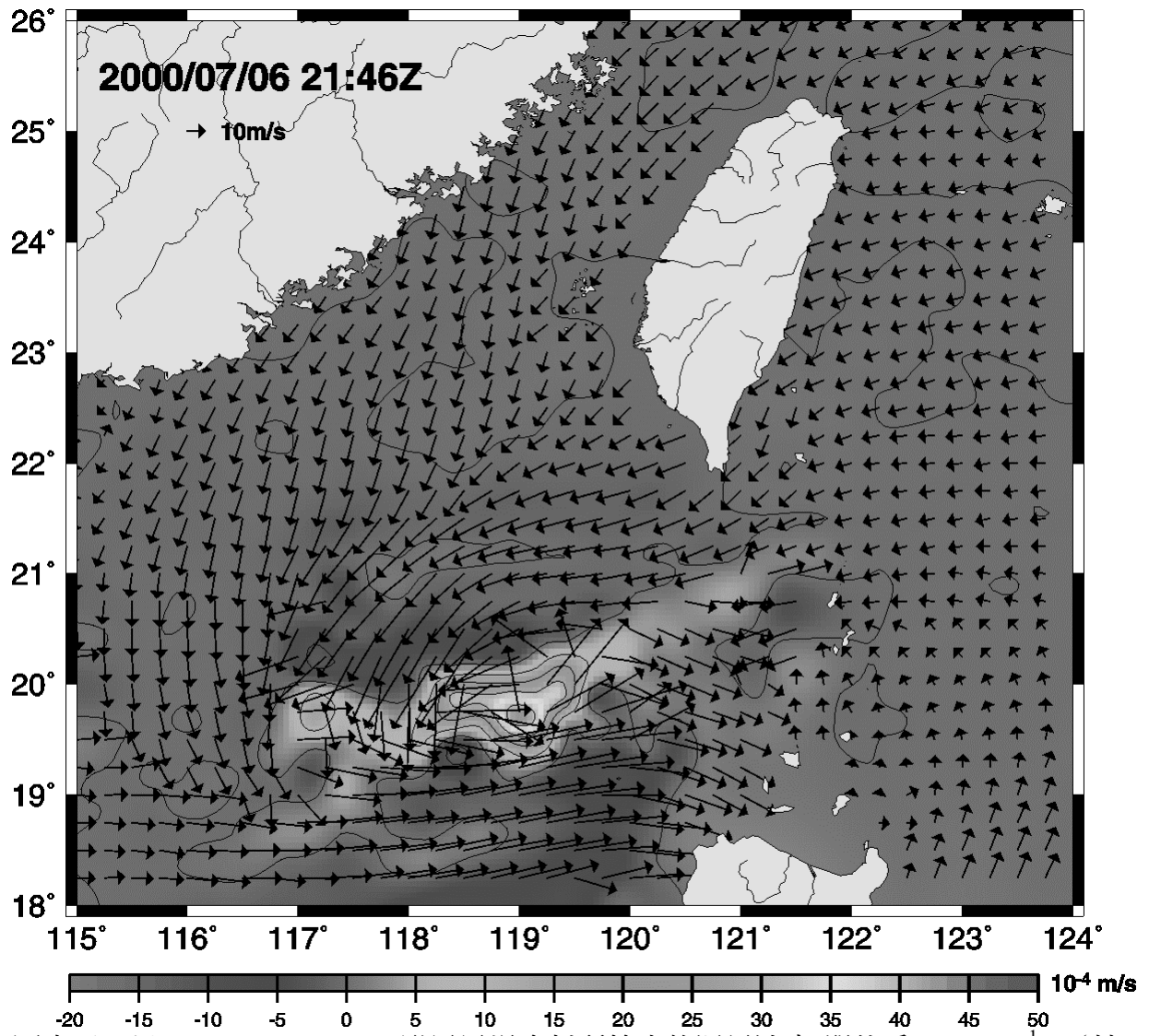
圖十二、米勒颱風之 GPS dropsondes 風場與 QuikSCAT 風場比較。



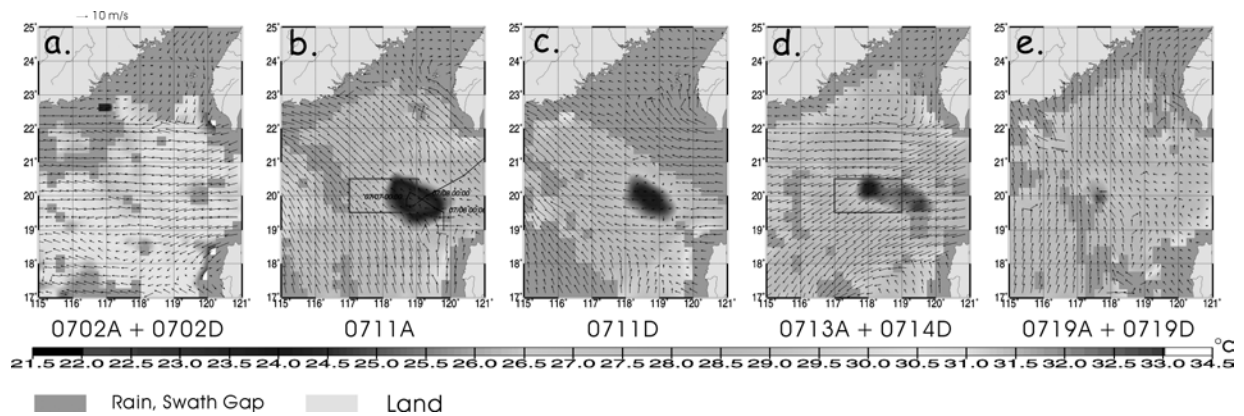
圖十三、米勒颱風之風速（實線）及相當位溫（陰影）剖面圖（由北而南之五個投落送資料剖面）。（摘自 Wu et al. 2004）



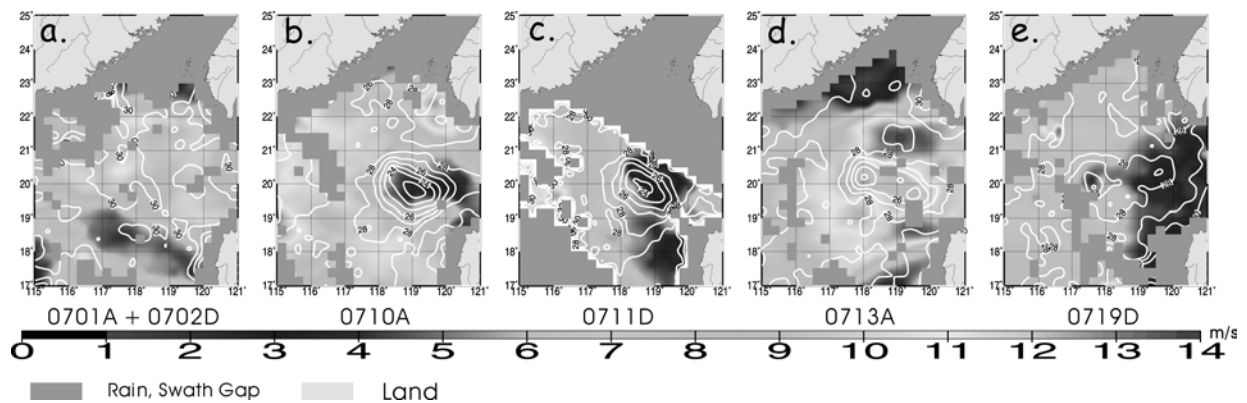
圖十四、TRMM 衛星穿透雲的微波表水溫資料顯示，颱風啟德經過前（2000 年 7 月 1-3 日平均圖，圖十四 a），在啟德颱風經過（2000 年 7 月 4-8 日）後（2000 年 7 月 9 日）（圖十四 b），及在一週後（2000 年 7 月 12-14 日）。圖十四 d 為 NASA SeaWiFS 水色衛星，顯示颱風來前（2000 年 6 月 27 日至 7 月 4 日平均圖）南海葉綠素甲（chlorophyll-a）濃度值（單位為 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ），圖十四 e 為颱風過後，暴風圈內之葉綠素濃度值，有 30-100 倍之劇烈增加。圖十四 f 為沿著圖 1a、1b、1c 之紅橫線之表水溫變化並與氣候平均值（藍線）的比較。圖十四 g 為葉綠素中沿著 1d 及 1e 之黃橫線與氣候平均值（藍線）之比較。（摘自 Lin et al. 2003b）



圖十五、以 NASA QuikSCAT 颱風風場資料所算出的湧昇速率(單位為 10^{-4} m s^{-1})。(摘自 Lin et al. 2003b)



圖十六、如圖十四 a 至圖十四 c 所述，顯示啓德颱風經過前(圖十六 a)及後兩週間(圖十六 b-e)，之 TRMM 衛星所觀測到的海水溫度變化(陰影)及 NASA QuikSCAT 風場向量圖。(摘自 Lin et al. 2003a)



圖十七、對應圖十六的 NASA QuikSCAT 風速(陰影)及海水溫度分佈圖(等值線)。(摘自 Lin et al. 2003a)