

本研究室主要為進行颱風相關科學研究，研究範疇除了理論探討外，亦結合實際作業運用，急需大量的計算資源來進行模式之數值模擬，因此希望貴中心可以提供計算資源上的協助。本研究團隊近期的研究科學議題如後所述，相關發表之國際期刊論文與研究成果，請參考吳俊傑教授之個人網<http://typhoon.as.ntu.edu.tw/>。

1. 颱風與地形交互作用之動力機制：

台灣地形如何影響颱風路徑、強度及風雨分布一直是我的主要研究領域，特別是利用觀測分析與數值模擬探討此議題(Wu and Kuo 1999, BAMS; Wu 2001, MWR; Wu et al. 2002, Wea. & Forecasting)。我們目前致力於更高解析度的數值模擬，以瞭解地形對眼牆動力的影響及登陸颱風中 Vortex-Rossby waves 的演變情形。

2. 颱風強度變化之動力機制：

控制颱風強度變化的主要物理機制為何，乃是目前颱風研究最重要的議題之一。Wu and Cheng (1999, MWR) 透過資料分析以瞭解環境風切、角動量通量、海表面溫度、外流層及位渦等因素對於颱風強度的影響。我們正在進行更多的理想與真實個案模擬，以進一步解開颱風強度研究的難題。

3. 颱風海洋交互作用之動力機制：

颱風與海洋之間的物理、生物及地球化學交互作用，相關機制和過程極為複雜多元，變化的速率也極其快速。這雖然是氣候及環境變遷領域中可能的關鍵性科研議題，在台灣的相關研究卻相當有限。目前最大的挑戰在於定量理解這些物理、生物及地球化學的耦合系統 (coupling system) 之交互作用 (interaction) 及反饋 (feedback)，其中主要方向之一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，因此海洋的初級生產力對地球的氣候及環境系統都有重要影響。

受限於颱風期間無法以船測方式在研究區域內取樣，過去對於颱風引起的生地化反應及初級生產力所受影響，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，我們正與主導計畫的林林依依博士合作、利用先進多重遙測技術及模式的整合，突破這些瓶頸。使用新的 TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission) 衛星的 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四者配合，發現了颱風對南中國海初級生產力的顯著影響。颱風每年提供南海 20-30% 生產力 Lin et al. (2003, GRL) 研究發現 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現象，使海平面 50 公尺以下富含營養鹽的海水上升到海面，使得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 %。由此結果推測，以南海每年平均有 14 個熱帶氣團或颱風經過，其對南海年度新生產力可能的貢獻應有 20-30% 之劇。如此重大的影響，長久以來科學家卻因缺乏資料數據而忽略不計。上述論文結果亦披載於 2003 年 8 月 7 日 Nature Magazine 中的 news and views in brief。

Lin et al. (2003, GRL) 探討颱風過後的後續海氣交互作用過程。熱帶海洋供給颱風生成的能量，颱風形成後又作用(impact)於熱帶海洋，將深層的冷海水攜至海洋表面，促使海水表面溫度降低，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，造成大氣邊界層風速顯著減弱。分析兩個不同颱風個案，發現其有共同性，即 1°C 的海表溫的冷卻，可以造成風速 1 米每秒 (1 m/s) 的減弱。此論文結果也在 2003 年 3 月 13 日刊載於 Nature Magazine 中的 news and views in brief。

我們也使用海表面高度距平(SSHA)與一個簡單的海洋耦合模式(CHIPS)，探討海洋暖渦旋在颱風強度改變的議題中所扮演的角色 (Lin et al. 2005, MWR)。研究結果獨特顯示一個新的詮釋觀點，即暖渦旋所伴隨之較厚混合層可有效降低颱風引發之海表面溫度冷卻作用，使梅米颱風得以發展並維持於超級強烈颱風強度。2005 年卡崔那颶風是海洋暖渦旋與暖洋流改變颱風強度的另一個案例。受到上述觀測結果的鼓舞，我們正使用簡單的颱風與海洋耦合模式，以瞭解海洋混合層結構在反饋問題上所扮演的角色 (Wu et al. 2007a)。

4. 數值模擬與颱風資料同化：

如 Wu and Kuo (1999, BAMS) 所述，若想增進對於颱風動力與颱風預報的掌控，便需要進行適當的資料同化研究，將現有資料與高解析度數值模式加以整合。我們根據 4D-VAR 資料同化技術進行一系列的觀測系統模擬實驗 (OSSEs)，對於影響颱風初始化與模擬的主要變數有了更進一步的瞭解(Wu et al. 2002, 25th Conf. on Hurricanes ; Wu et al. 2003)。我們持續進行的伴隨敏感 (adjoint sensitivity) 研究對於颱風的策略性觀測(adaptive observation)將有重要助益。

5. 颱風的位渦診斷：

Wu et al (2003, MWR) 定量計算雙渦旋的交互作用過程。此研究以雙颱風彼此引起的伴隨駛流為權重，重新繪製新的相對質心雙颱風互繞圖，這個方法可以瞭解實際大氣或數值實驗中複雜的多渦旋合併與互動過程。此研究清楚顯示寶發颱風受到桑美颱風影響的運動過程，而透過研究中建立的嶄新雙颱風交互作用詮釋架構，當可重新瞭解雙颱風互動的過程，並得應用以改進雙颱風路徑預報。我們正在繼續進行更多的細節工作，以瞭解及量化導致颱風運動不確定性的因子，如 2001 年的納莉颱風及 2002 年的辛樂克颱風。

6. 颱風預報誤差分析、偏差修正及系集預報

我們進行特別設計的數值預報實驗 (Wu, Bender and Kurihara 2000, JMSJ)，以瞭解颱風模式的系統性誤差、進行偏差修正、並探討系集預報中預報誤差與系集散佈 (ensemble spread) 的關係。我們嘗試使用更多模式預報資料，以發展出更有意義的颱風系集預報方法。

7. 追風計畫 (DOTSTAR : Dropsonde Observation for Typhoon Surveillance near the TAIwan Region)

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 Dropsonde)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 (Dropsonde Observation 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(由我本人為計劃主持人，以及台灣大學大氣科學系林博雄教授與中央氣象局葉天降博士為共同主持人)，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，以每架約六小時時間直接飛到颱風周圍 42000 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，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, NECP(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、妮姐、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、帕布、聖帕、韋帕及柯羅莎等 24 個颱風完成 28 航次之飛機偵察及投落送觀測任務，總計在颱風上空飛行 147 小時、並成功投擲 457 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（對放颱風假與否具關鍵性影響）。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 24~72 小時颱風路徑預測準確度達 20%。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著名學術期刊發表成果論文(Wu et al. 2007c, Wea. Forecasting)。

追風計畫研究團隊每一次的觀測飛行路徑都會參考國際上各家模式所輸出的敏感區位置，其中包括：(1) NCEP 全球系集預報模式的深層平均風向量 (2) 系集變換卡爾曼濾波器 (3) NOGAPS 奇異向量。而近期研究團隊也研發出新的敏感區定義方法：MM5 共軛模式敏感駛流向量(ADSSV)並於國際期刊發表獲得肯定(Wu et al. 2007b, JAS)。而此方法除了應用在追風計畫外也被 NOAA HRD 的颱風觀測任務所採用。Chou and Wu(2007,MWR)也提出更佳結合投落送資料與虛擬渦漩之方法。

由國科會所推動的追風計畫，目前的進展相當成功；其中，第一期計畫已經在民國 94 年 7 月結束，而第二期追風計畫（民國 94 至 97 年），在以中央氣象局與國科會的合作支持下，也正持續推動。同時，我們也將參與國際大型觀測計畫 THORPEX/PARC，在 2008 年與日本(TH08)、美國等國，共同進行觀測實驗。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。