

西南氣流觀測與豪雨預報實驗簡介

周仲島¹ 辛江霖²

¹ 國立台灣大學大氣科學系

² 中央氣象局

一、前言

近年來我國天然災害頻仍，尤其是與豪大雨相關之氣象災害更是日益加劇。1996 年賀伯颱風、2001 年譚美/桃芝/納莉颱風、2004 年敏督利颱風引進西南氣流、大台北地區 911 超大豪雨、以及 2005 和 2006 年梅雨季超大豪雨等事件，不僅造成全省重大人員傷亡及財務損失，更造成整體國家基礎建設重創，社會大眾心理不安。透過氣象基礎和應用研究並與防災科技進行整合，確實達到減災的目標，已是氣象界無可旁貸的責任。鑑於社會的實際需求以及氣象界自發的省思，自 2000 年 8 月，由氣象學界和作業單位研究人員共同組成台灣天氣研究群，針對影響台灣地區主要災變天氣系統（包括侵台颱風，梅雨季鋒面豪雨，以及劇烈雷暴等）之主要大氣物理過程，採用新探測技術、資料診斷分析、以及數值模擬等研究方法，進行基礎與應用之整合性規劃。台灣天氣整合研究 Taiwan-WRP (Taiwan Weather Research Program) 預計以 10 年為期，分三階段規劃執行(周仲島 2001)。在過去幾年，研究群針對上述主題分別進行了綠島地區中尺度實驗(Green Island Mesoscale Experiment: GIMEX 2001; Jou and Shieh 2001)、定量降雨系集數值模擬實驗(Mesoscale Ensemble Forecast System at East Asia: MEFSEA 2004)、以及颱風觀測和預報實驗(DOTSTAR and Typhoon Prediction Experiment: TyPEX)。

爲了強化定量降雨估計和預報能力，在氣象局和海軍大氣海洋局的支援下，進行多校聯合中尺度降雨系集預報模擬實驗。利用相似數值模式系統但不同之參數設定(包括初始場以及物理參數化設定)，進行連續多年梅雨季鋒面豪雨和颱風定量降雨預報，實驗結果顯示，系集預報之準確度較已往單一模式預報結果有顯著改善。此一工作在計畫中持續進行測試，並已接近作業化之可行性(氣象局正測試中)。另一方面，雷達降雨估計系統也有相當大的進展。中央氣象局自 2002 年在水利署經費支援下和美國國家劇烈風暴實驗室(NSSL)以及預報系統實驗室(FSL)共同研發 QPESUMS 系統以及 LAPS-WRF 模擬系統，針對台灣地區極短期定量降雨估計與預報，利用都卜勒雷達以及地面與量站資料建立作業化系統，此一系統並

透過防災體系深入縣市地方政府，作爲防災救災整備以及緊急應變重要參考依據。颱風觀測與預報實驗則持續進行機載投落送觀測實驗(追風計畫)，成果豐碩。另外在國科會支持下也分別進行颱風季和梅雨季定量降雨預報實驗，發展預報技術提升預報能力。

二、西南氣流實驗規劃

台灣天氣研究計畫針對 2004 和 2005 兩年的雲嘉南高屏等地區深受西南氣流所引發超大豪雨之苦，但缺乏上游南中國海以及高解析度豪雨觀測資料，規劃自 2006 年 5 月開始進行【台灣地區西南氣流觀測與豪雨預報實驗】，除了利用氣象局剛完成建置的全省都卜勒雷達網，並將配合氣象局正執行之【變異氣候和災害天氣計畫】，在南海地區投擲投落送，收集南海地區和台灣地區高解析度中尺度氣象資料，進行豪雨天氣診斷分析以及數值模擬研究，提升我們對西南氣流所造成之豪雨現象的認識，達到改善現有短時劇烈災害性天氣預報準確度的目標。

西南氣流觀測與豪雨預報實驗(Southwest Monsoon Experiment: SoWMEX)由 2006 年開始到 2008 年已經是第三年。實驗地點爲南中國海與台灣海峽。實驗目的是希望經由增加南中國海和台灣海峽大氣探空(船舶探空，機載投落送，以及福衛三號衛星反演)資料，針對台灣梅雨季進行資料比對以及數值模擬計算實驗，配合環島都卜勒雷達以及自動氣象測站資料分析診斷，探討西南氣流的熱動力性質以及西南氣流引發豪大雨天氣系統的可預測度。

台灣梅雨季鋒面帶上經常有顯著中尺度對流系統(mesoscale convective systems: MCSs)發生。現有高解析度中尺度數值模式(例如 NCAR 發展之 WRF)在模擬這些中尺度對流系統以及相關降雨分佈以及強度時，表現並非全然理想。可能原因除了與梅雨鋒面降雨相關之物理過程瞭解有限，以致模式內物理參數化過程參數設定不確定性很大之外，模式初始場的不確定性也是一個很大的因素。1998 年南海季風實驗(SCSMEX)雖然在南中國海進行了一系列的大氣海洋觀測實驗，但是由於缺乏海上較高解析度的密集觀測(主要觀測集中在東沙島附近)，因此對於影

響我國降雨最直接的西南氣流，其強度、熱力性質、以及動力性質之時間空間分佈特徵瞭解有限。

西南氣流是個多重時間和空間尺度的問題，牽涉問題非常廣泛。然而針對西南氣流所引發台灣南部地區豪雨這個問題，尤其是為何最大降雨中心有時集中在山區，而有時卻集中在平地？這個課題部份可以簡化成氣流和地形交互作用。有些研究認為可以經由計算盛行風的福祿數作為判斷的依據，福祿數由盛行風強度、氣流穩定度、以及地形高度組合而成之參數，而福祿數的計算，必須要有正確的西南氣流強度分佈以及熱力性質分布。另外，加強雲嘉南高屏地區局部環流結構以及日夜變化特性的瞭解。由過去研究指出，梅雨季降雨具有顯著的日變化，局部環流可能扮演非常重要的角色。局部環流在颱風遠離之際如何與西南氣流交互作用？梅雨季西南氣流又是如何與局部環流交互作用？這些都是和豪雨發生直接相關的科學問題。

西南氣流在台灣南部造成之豪雨在 2004 年和 2005 年各有一個顯著的個案。2005 年 6 月 12 至 14 日 QPESUMS 系統雷達估計雨量顯示，72 小時估計累積雨量最大值可達 1750 mm，主要超大豪雨發生區域在本省西南平原地區。該個案為梅雨季旺盛西南氣流帶來之持續性豪雨現象，媒體稱之為六一四水災。另外在 2004 年 7 月 2 至 4 日敏督利颱風北移後引入旺盛西南氣流，造成媒體所稱七二水災，72 小時 QPESUMS 估計之累積雨量最大值可達 1375 mm，主要超大豪雨發生區域在本省南部斜坡和高山地區。兩個個案的相似之處都有旺盛的西南氣流，主要的源區都來自南中國海，相伴隨雲系源源不絕由南中國海移入，導致南台灣超大豪雨。兩個個案的差異從降雨所在地區，可以明顯看出一個降雨區主要在平地，另一個降雨區主要在山區。

2005 年 6 月 12-14 日嘉南平原超大豪雨系統，嘉南平原部分地區積水達一星期之久。然而中尺度高解析數值模式 WRF 模擬降雨大多在山區，與實際降雨相當大差異，造成防災單位資源配置上的措手不及。比較模式模擬結果發現 WRF 模擬 6/14 1200 UTC 之 850hPa 西南氣流，在海岸以及平原地區遠較實際觀測數值為強，但是在外海卻較實際觀測數值為弱。此一差異表示氣象觀測在外海和海岸地區氣流是速度輻合，而模擬結果在海岸地區氣流是速度輻散，主要輻合區在地形斜坡以及山區。兩者天氣系統最大區別在模擬結果中台灣海峽形成一個顯著熱帶低壓系統，而在初始場中此一低壓擾動之強度甚弱。氣象局與 NSSL 合作發展之暖啟動 (Hot Start) 數值模式系統也進行了該個案定量降雨預報實驗 (Local analysis and prediction system-MM5: LAPS-MM5)。

在此模式中已經同化雷達資料，由模擬 6-12 小時累積雨量結果顯示，模式降雨主要在山區而觀測卻是在平地。此一結果顯示單獨加入雷達資料並無法完整改進模式預測降雨的表現。另一方面，此一結果似乎也顯示綜觀環境若是沒有確實改善，正確降雨區的模擬很難獲得立即的改善。

為了解在海洋資料缺乏區增加探空觀測可能的衝擊，簡芳菁利用 WRF 模式進行探空植入虛擬實驗 (Sounding nudging experiment)，在南海植入四個虛擬探空並在低層加入額外水氣，結果發現模擬最大降雨區有由山區轉往海上情形。但是這樣的模擬僅能說明改變大氣探空確實會顯著影響降雨預報結果，並無法確定兩者的因果關係。這樣的實驗說明中尺度高解析度數值模擬對於模式初始場的設定非常敏感，因此要正確模擬出豪大雨降雨區，正確西南氣流描述是不可或缺的條件。西南氣流實驗其中一個目的就是在南海進行機載投落送密集觀測，增加模式初始場對西南氣流的觀測，或許可以獲得一組不錯的模擬結果，作為進一步診斷分析的資料庫。

2006 年 4 月華衛三號順利發射升空，依據太空計畫辦公室資料初始 6 顆微衛星將會較為聚集一起，空間間距較小，有利中尺度研究。本研究除了利用機載投落送增加南中國海綜觀大氣探空觀測外，同時利用此一機會進行衛星反演資料和密集探空的比對工作。機載投落送飛行路徑包括南海地區、台灣海峽、以及東北海岸，對於台灣鄰近海域大氣結構提供相當重要的資訊。此一計畫在執行期間將同時利用 WRF 模式進行即時之中尺度天氣預報，以確定投落送投擲方式與確切地點。同時與日本名古屋大學 UYEDA 教授和 TSUBOKI 副教授在中尺度模擬方面進行合作，利用 CReSS 雲模式計算，提供投落送投擲策略的參考。

為深入了解降雨物理過程，尤其是區別出山區降雨和平原降雨兩者的差異，超大豪雨的雲物理過程應予以釐清。本實驗計畫除了繼續機載投落送觀測外，更在 2008 年與美國科學家合作引進 NCAR 所屬 S 波段雙偏極化雷達 (SPOL) 進行豪大雨天氣系統的觀測。雙偏極化都卜勒雷達可以觀測雲內微物理參數，例如雨滴形狀和降雨粒子譜 (可以正確估算降雨強度和雷達回波因子)，雲內降水物理性質，以及高解析度氣流場，對於山區降雨過程可以提供深入探索的基本資訊，對於改善現有梅雨季山區定量降雨預報準確度將有非常深遠的意義。

三、西南氣流實驗之執行

2008 年西南氣流實驗，又稱『追雨實驗』計畫，也可以說是豪大雨天氣系統的『基因』特徵研究。西南氣流實驗之總體目標為經由對南海地區西南氣流熱力動力特性的瞭解，和加強台灣本島複雜地形下降雨過程的基礎認識，以改進現有豪大雨天氣之『定量降雨預報』準確率。實驗期間為 97 年 5 月 15 日至 97 年 6 月 25 日，共 42 天。實驗地點為台灣海峽南海北部海域以及南高屏地區。

中央氣象局預報中心乃依據『雨量計』所量測累積降雨量多寡來界定豪大雨天氣。日雨量大於 50 毫米者為大雨，大於 130 毫米者為豪雨，大於 200 毫米者為大豪雨，大於 350 毫米者為超大豪雨。這幾年台灣地區豪大雨發生的機率有明顯增加的趨勢，時雨量超過 100 毫米極端降雨的機率也大大增加。這樣的環境變遷不僅僅增加天氣預報工作的挑戰，下游防救災工作的調適需求也面臨極大的應變壓力。

本次實驗針對今（2008）年梅雨季，鋒面南側暖濕西南氣流內極易爆發的『中尺度對流系統』，也是造成豪大雨的主要天氣系統，進行海陸空密集氣象觀測實驗。參與實驗的氣象儀器設備包括兩部分：（一）探空部分，（二）雷達部分。

（一）探空部分：

1. 地基探空：氣象局『板橋，花蓮，台南，東沙』，空軍氣象聯隊『馬公，屏東，綠島』，國科會支援增設海岸和山區探空測站『台中，恆春，六龜』。
2. 船載探空（海空軍分別提供船艦以及探空儀，學生負責施放），南北各一，達觀艦以及大字號拖船。
3. 機載投落探空儀（翰翔公司提供飛機，台大負責投落作業和資料收集通訊等，空軍和民航局協助航管）。

探測項目為：對流層（地表至 20 公里高空）之氣壓，溫度，濕度，水平風速風向等。作業方式分為實驗觀測期（SOP）5/15-6/25 六個星期，42 天。每天探空釋放四次。其中選定一個星期連續七天為特別觀測期（EOP），探空每天施放八次。再選定 14 天為密集觀測期（IOP），除了每天八次探空施放外，另外包括機載投落探空作業，加強海上觀測。

所謂密集觀測期就是我們預期有連續超大豪雨發生時進行之探空加密觀測，其中尤其是機載投落探空可以讓我們機動深入中尺度對流系統上空投擲投落探空儀，獲取第一手豪大雨系統在海上時的特徵資料。另一方面，當豪大雨系統接近本島時，此時所有雷達系統也將加入密集觀測。此次實驗預期將可獲得多組三度空間完整高解析度豪大雨天氣系統的氣象資料，作為分析診斷以及模擬校驗的依據。

（二）雷達部分：

為瞭解豪大雨發生的降雨過程，這次實驗在氣象

雷達方面可以說是武器大觀。

1. 日本名古屋大學水文大氣研究中心之小型都卜勒雷達（XDOP，屏東科技大學），探測項目：降雨回波和風速。
2. 美國國家大氣研究中心特大型無衰減雙偏極雷達（SPOL，新園堤防），探測項目：水平與垂直極化之差異回波和差異相位，退偏極化比，豪雨系統之『水象粒子』區分，環境之水氣觀測（折射率）等。
3. 韓國慶北大學降雨研究中心垂直指向降雨雷達（Verti-X，三地門），探測項目：豪雨系統之降雨強度，雨滴掉落速度，『空中雨滴譜』特徵。
4. 加拿大氣象局提供五套降雨探測器（POSS，五套，三地門），探測項目：豪雨系統『近地面雨滴譜』特徵。
5. 台灣氣象局的 10 公分都卜勒雷達，探測項目：降雨回波和風速。中央大學小型車載移動式雷達（TEAMR），探測項目：差異回波等。中央大學剖風儀（ISS），探測項目：水平風場垂直剖面。二微光學雨滴譜儀（2DVD），探測項目：雨滴形狀和大小。文化大學微降雨雷達（MRR）：探測項目：降雨強度和雨滴譜。水利署地面撞擊式雨滴譜儀（JWD），探測項目：豪雨系統『地面雨滴譜』特徵。由於增設許多新儀器，有必要針對一些專有名詞予以解釋。水象粒子（hydrometeor），降雨系統內是由多種水象粒子組合而成，包括冰晶，雪花，過冷水滴，霰，冰雹，雨滴等。每一種水象粒子的存在，代表在不同環境因素下，不同的降雨過程所得到的結果。簡單的區分包括冷雲、暖雲、以及混合雲三種過程。不包含冰晶過程者稱之暖雲，不包含雨滴過程者稱冷雲，兩者都包括者稱混合雲過程。

現有認知，一般豪大雨系統是由多個劇烈雷暴凝聚而成，因此大豪雨的發生應該多屬於混合雲過程，也就是說大雨滴的形成是因為在高空有大冰塊存在（類似冰雹，霰等冰水混合物），在掉落過程溶解後變成大雨滴的結果。但是也有一些研究認為，有些時候豪大雨的發生，雲發展高度並不高，雨滴也不大，但是非常綿密集中，因此大冰塊存在的機率並不高，可能是純粹的暖雲過程所主宰。顯然大豪雨的形成可能有不同的物理過程。

瞭解降雨過程的差異在於為了準確預報降雨量多寡，數值模式的模組要多複雜才能盡其工，達到準確模擬的任務。若是豪大雨過程以混合雲為主，那冰晶過程一個不可少，模式中必須小心處理。若是暖雲過程為主，則計算資源可以節省很多。另一方面，降雨過程的釐清，也有利於未來乾旱期間人工增雨技術的發展。這些工作和生物醫學研究近年來著重『基因工程』研究有相當多的類似。

粒子譜 (drop size distribution, DSD), 不同水象粒子數目多寡分佈特徵。一種更接近降雨物理原理之統計特性。『雨量計』量測到一組相同強度降雨, 其雨滴粒子譜可以有很大差異。可以是由非常多較小顆粒的雨滴組成, 或是由較少數的大顆雨滴組成。這兩種狀況降雨強度類似, 但是物理過程卻迥異。前者環境水氣分佈多寡可能為主要控制, 而後者可能和環境風場特徵有密切關連。因此利用雙偏極化雷達進行豪大雨天氣系統內部水象粒子分類, 分佈, 以及數目多寡, 對於豪大雨天氣系統的發生可以獲得更接近降雨過程基礎原理的描述, 而不是過去較為巨觀外貌的描述。因此也可以說是降雨基因工程的研究工作。

四、結語

2008 年西南氣流實驗所收集的資料總共有 9 個主要天氣過程 (IOPs), 包括 2 次超大豪雨 (雲林西螺和高雄市), 多次大豪雨個案。收集到的資料包括地基探空接近 2,000 個, 船舶探空超過 300 個, 10 航次。機載投落送總共進行 14 次飛行, 投擲近 200 顆投落送。另外降雨超級站有超過 200 小時各種雷達資料, 對於西南氣流引發豪雨的降雨過程有非常豐富的資料可供後續研究探索。

為了達成計畫預定的目標:改善西南氣流影響下豪大雨天氣定量降雨估計和預報的工作,西南氣流實驗後續工作在計畫辦公室的統籌下已經陸續展開。相關工作包括:組織科學研究團隊針對不同資料進行資料品管工作,例如:氣球探空資料的資料品管(相互比較實驗),各種雷達觀測資料的品管,其他相關資料的後收集和品管(例如:閃電資料,地基 GPS 資料,自動氣象測站資料等等)。另外為了加速後續研究分析工作順利進行,台美和台日多方研商進行研究人員和研究生交換計畫,使得相關資料可以被充分利用。

這次實驗的贊助及支援單位非常多。台灣方面有交通部中央氣象局,民航局,國科會,國防部(海空軍司令部,氣象中心,空軍氣象聯隊,海軍大氣海洋局,海軍救援艦隊,遠觀艦等),經濟部水利署(各河川局,堤防工程等),國家災害防救科技中心。美國:國家自然基金會,國家大氣研究中心,EOL,MMM,RAL,以及 NOAA 劇烈風暴實驗室。日本:名古屋大學水文大氣研究中心。韓國:國立慶北大學降雨研究中心,國立釜慶大學全球氣候研究中心。加拿大氣象局,澳大利亞氣象局,菲律賓氣象局等。參與之大學包括:(台灣)台灣大學,中央大學,文化大學,台灣師範大學,國防大學,屏東科技大學,航空技術學

院,輔英科技大學。(美國)夏威夷大學,猶他大學,加州大學洛杉磯分校,科羅拉多州立大學,奧克拉荷馬大學,佛羅里達州立大學,(加拿大)麥基爾大學,(日本)名古屋大學,以及(韓國)慶北大學和釜慶大學。

實驗期間參與動員的人員,國內外加起來超過 300 人。以人天計算,初步統計在作業指揮中心(OCC,氣象局衛星中心二樓會議室),南區作業協調中心(屏東科技大學迎賓樓會議室),模式模擬作業區,SPOL 作業區,TEAM 雷達作業區,降雨超級站作業區,日本雷達作業區,以及各地船舶飛機探空作業區等總加起來超過 6,000 人天,動員範圍不可說不廣。

實驗期間指導委員會在單位協調與經費贊助發揮決定性功能,在此特別感謝。專家諮詢委員會參與每日 SPG 會議,並對實驗規劃和執行提出建言,使得實驗執行順利圓滿,在此也一併致謝。

致謝:

本文在國科會,氣象局,以及水利署經費資助下完成,感謝相關單位過去多年對本實驗計畫的支持。

參考文獻

- 周仲島, 2001: 台灣天氣研究計畫與綠島中尺度實驗簡介。科學發展月刊, 29, 568-578。
- Jou, B. J.-D., and S.-L. Shieh, 2001: A brief summary of Green Island Mesoscale Experiment. Proc. Inter. Conf. on Mesoscale Meteorology and Typhoon in East Asia, Taipei, Taiwan, September 26-28, 252-257.

- Local circulation experiment (2001, NSC), GIMEX
- Mesoscale Ensemble QPF System (2001 CWB+ WRA), MEFSEA
- Doppler radar network (2002 CWB+ WRA), QPESUMS
- Typhoon Dropsonde Program (2003 NSC+CWB), DOTSTAR
- FOMOSAT III (2005 NSC+NSPO), COSMIC/GPS
- Mobile polarimetric radar (2006 NSC), TEAM_R
- SoWMEX/TiMREX (2008 NSC+ CWB+ NSF_NCAR), 15 May to 30 June 2008, south Taiwan

台灣天氣研究計畫 Taiwan Weather Research Program: A 10 year (2001-2010) weather research program

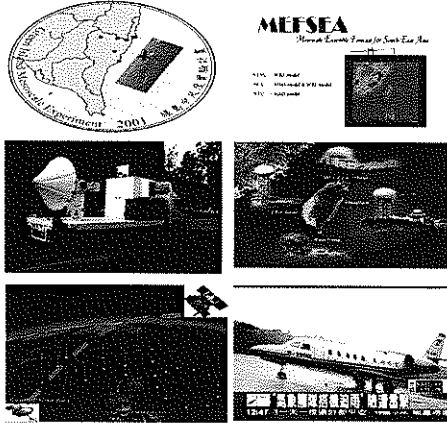


圖 1、台灣天氣研究計畫簡介。

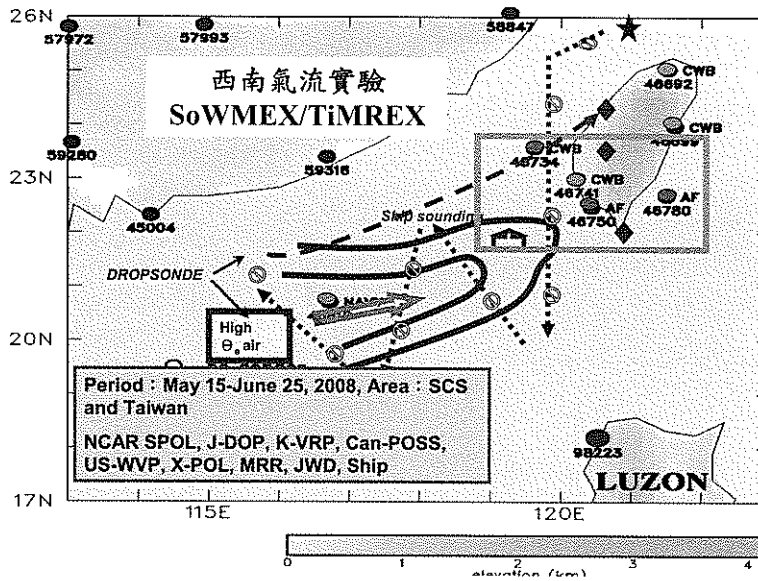


圖 2、西南氣流實驗範圍與儀器配置。

