

『西南氣流實驗』簡介

台灣大學大氣科學系 周仲島

一、前言

西南氣流實驗，又稱『追雨實驗』，英文名稱為 SoWMEX/TiMREX (Southwest Monsoon Experiment/ Terrain-influenced Monsoon Rainfall Experiment)，是由台灣和美國氣象科學家通力合作的一個國際氣象野外觀測實驗，也是我國第一次針對夏季季風西南氣流盛行期間造成豪大雨天氣之『中尺度對流系統』(Mesoscale Convective Systems)的基礎科學研究。

西南氣流實驗之**總體目標**為：經由同時對南海地區西南氣流熱動力特性的瞭解，和加強台灣本島複雜地形降雨過程的基礎認識，以達到改進現有豪大雨天氣『**定量降雨預報**』準確率的目標。這幾年台灣地區豪大雨發生的機率有明顯增加的趨勢，尤其是西南氣流所帶來的豪雨，其中時雨量超過 100 公釐極端降雨的機率更是大大增加。這樣的氣候環境變遷不僅增加下游防救災即時應變的挑戰，提升天氣預報準確度的需求也面臨極大的調適壓力。本實驗就是在這種環境背景下提出執行。

二、實驗規劃與執行

本次實驗針對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**，也就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。實驗期間為 97 年 5 月 15 日至 97 年 6 月 30 日。實驗地點為台灣海峽和南海北部海域以及雲嘉南高屏等地區。實驗**科學目標**包括：中尺度對流系統的動力與微物理特性，西南氣流的熱動力和低層噴流形成機制，對流發生機制和大氣邊界層過程，地形效應，以及定量降雨預報之資料同化技術等。實驗內容包括野外觀測和數值模擬兩部分，本文主要介紹參與野外實驗的氣象儀器和配置：大氣探空、天氣雷達、以及降雨超級站網。

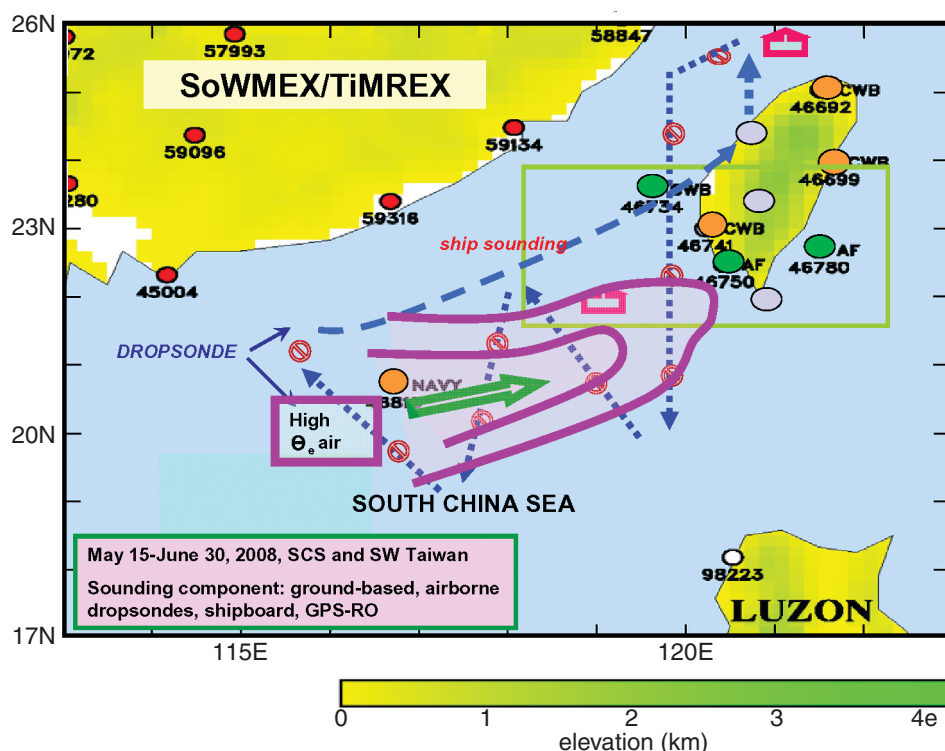
1. 大氣探空

氣象探空主要探測項目為：大氣層（海表面至 20 公里高空）之氣壓，溫度，濕度，水平風速風向等，也是現階段量測大氣層穩定度和垂直風切最主要的觀測儀器。大氣探空依氣球施放平台在本實驗中可分下列三種：

1. 地基探空觀測。包括中央氣象局『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『台中清泉崗，高雄六龜，屏東恆春』。
2. 船載探空觀測。海空軍分別提供船艦以及探空儀，學生負責施放。實驗期間台灣海峽南北各一艘，達觀艦在北，大字號拖船在南。（地點參見圖一）。
3. 機載投落探空觀測。由中央氣象局和漢翔航空負責飛航作業，台大負責探空儀投落作業，空軍和民航局協助航管作業。飛機一般由台中清泉崗機場起飛，穿越海峽中線，往南在南海北部海域投擲後返回台中。每次飛航大約 3~4 小時，投擲 12~15 個探空。

實驗期間氣象探空作業方式分為實驗觀測期(SOP) 5/15-6/30 六個星期，42 天，每天探空施放四至五次（日常作業一天僅施放兩次）。為了監測大氣日變化特徵和豪大雨天氣，預定 21 天為密集觀測期(IOP)，探空每 3 小時施放一次（一天八次），並在適當時機加入機載投落探空作業，加強海上觀測。一般狀況，IOP 其間很少連續超過 2 天。但是這次實驗為了避免漏網之魚，特別設計連續 7 天 IOP 的特別觀測期(EOP)，探空施放連續七天不間斷執行。

科學家們每天下午在氣象局開會，當預期未來 24 小時有連續超大豪雨發生的機會時，討論決定是否進入密集觀測期，進行加密探空觀測作業。並透過機載投落探空，機動深入中尺度對流系統上空投擲，獲取第一手海上豪雨系統環境特徵資料。當豪雨系統接近本島時，雷達系統也加



圖一 西南氣流實驗地理位置以及大氣探空測站分布。藍色點線代表預先規劃之飛機投落探空飛行路徑，紫色代表西南氣流內低層噴流結構特徵。紅屋表示船舶探空位置，橘色綠色灰色圓圈分別代表不同作業單位或實驗新增的地基探空。實驗期間，菲律賓北方老沃(98223)測站也應我方要求進行地基探空作業

入密集觀測，收集三度空間完整高解析度豪大雨天氣之降雨特徵資料，作為分析診斷以及模擬預報校驗的依據。特別值得一提的是在美方科學家協助下，經由世界氣象組織，聯繫菲律賓氣象局，在呂宋島北端的老沃(Laogo)同時進行探空作業，使得大氣環境資料收集範圍更大更為完整。

2. 天氣雷達

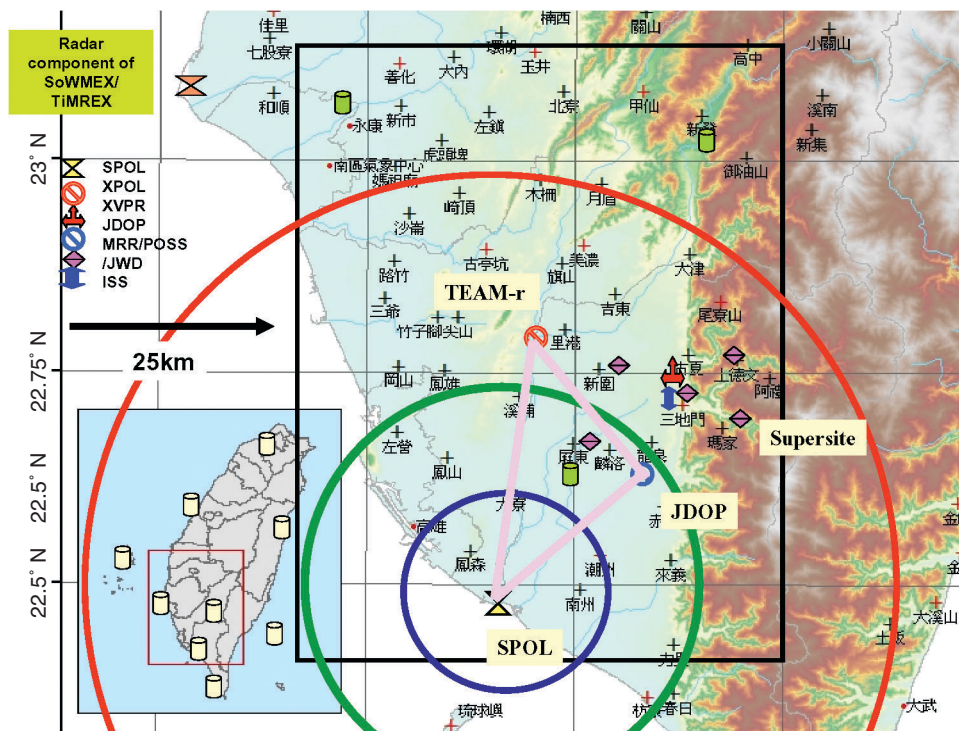
為瞭解豪大雨天氣系統之降雨物理過程，作為改進定量降雨估計和預報技術的依據，這次實驗在天氣雷達方面可以說是武器大觀。

1. 在美國國家自然基金會(NSF)資助下，國家大氣研究中心(NCAR)得以將世界唯一的一部特大型高靈敏度雙偏極化都卜勒雷達(S-band Polarimetric radar system, 簡稱 SPOL)第一次帶到亞洲地區進行觀測實驗。此一雷達的特徵為有自動濾除非天氣回波功能，靈敏度特別高，可以探測晴空大氣運動特徵。另一方面，在豪大雨系統來時可以探測水平與垂直極化

之差異回波和差異相位以及退偏極化比等參數，對於豪大雨系統之『水象粒子』區分(冰或水)以及環境水氣場都可以反演獲得。

2. 台灣參與觀測的雷達系統包括：中央氣象局 4 部 S 波段都卜勒雷達，探測項目：降雨回波和風速。中央大學小型車載 X 波段移動式雷達 (TEAM-R)，探測項目：偏極化差異回波等。
3. 日本名古屋大學水文大氣研究中心之小型都卜勒雷達(XDOP)，探測項目：降雨回波和風速。

這三個天氣雷達系統不但可以測雨，同時也可以測風，因此在雷達放置的地點安排也需要諸多考量。實驗前美國和日本科學家曾多次來台到南部地區沿海和山區，積極尋覓適當的架設地點。最後與水利署協商後，選定高屏溪出海口林園堤防作為 SPOL 的基地，日本雷達則放置在屏東科技大學(內埔)，TEAM-R 則放置在屏東九如的堤防頂。三者間可以進行三角觀測，對於水平風的反演也是國內首創(參見圖二)。



圖二 西南氣流實驗期間天氣雷達和降雨監測超級站網地理位置圖。美國 SPOL 雷達在新園堤防，日本都卜勒雷達(JDOP)在屏東科技大學，台灣車載 X 波段雙偏極化雷達(Team-r)在屏東九如。其三角布點可以交互進行雙都卜勒風場反演計算，這是國內第一次擁有此種資料。降雨監測超級站網(SUPERSITE)以三地門廣興國小為主站，在其周遭總共布有 25 個降雨監測儀器，觀測降雨滴譜變化，垂直降雨回波變化，以及垂直水平風變化等。配合天氣雷達網反演之風場以及水象粒子特徵，嘗試解開豪大雨天氣系統內部結構神秘面紗

3. 降雨超級站網

另一方面，為了瞭解豪大雨天氣系統其空中和近地面雨滴粒徑的分布特徵和差異，本實驗特別在屏東山區（廣興國小）增設降雨監測超級站(rain measurement super-site)。利用我國之剖風儀(wind profiler)，探測單點水平風場垂直剖面。二維光學雨滴譜儀(2DVD)，探測雨滴形狀和大小。超短波微降雨雷達(Micro Rain Radar)探測降雨強度和雨滴譜，以及地面撞擊式雨滴譜儀(JWD)，探測豪雨系統地面雨滴譜特徵。NCAR 科學家為使得降雨之微物理參數觀測更為完整，特別情商韓國慶北大學降雨研究中心借用垂直指向降雨雷達(Verti-X)，探測高解析度垂直分布之豪雨系統的降雨強度，雨滴掉落速度，以及空中雨滴譜特徵。也請加拿大氣象局環境研究中心借用降雨探測器(POSS) 5 套，探測豪雨系統近地面雨滴譜特徵。

滴譜(drop size distribution, DSD)代表不同水象粒子數目多寡分佈特徵，也是一種更接近降雨

物理原理之統計特性。『雨量計』量測到一組相同強度的降雨（巨觀），其雨滴譜（微觀）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，而後者可能和環境穩定度和風場特徵有密切關連。因此利用高靈敏度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，對於豪雨天氣系統的形成和變化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。因此這方面的研究也可以說是降雨基因工程的研究工作。

三、初步成果（詳細資料可參考網頁 <http://sowmex.cwb.gov.tw/>）

實驗期間總共進行九次密集觀測，時間分別為 5/19-22, 5/27-29, 5/29-31, 6/1-3, 6/3-4, 6/4-6, 6/12-13, 6/14-16, 6/23-26，並進行 13 次飛機投落

送任務，收集到非常多寶貴的豪大雨個案資料。在這期間經歷 3 次超大豪雨事件(兩次在高雄，一次在雲林)。其中特別值得一提的是從 5 月 29 日至 6 月 6 日九天不間斷的加強密集觀測，每天施放八次探空，學生老師以及工作人員幾乎無休息時間，獲得國外參與科學家的高度讚許和肯定。這無間斷的強化密集觀測，使我們得以第一次捕捉到梅雨季隱身西南氣流內，位於南海北部海洋上之中尺度渦旋(mesoscale vortex)天氣系統。此中尺度渦旋伴隨局部低層強風區和劇烈對流天氣，給高雄地區帶來超大豪雨。連續 9 天的密集觀測，再加上 4 次飛機投落探空，提供前所未有的機會，對此種造成超大豪雨的天氣系統進行深入觀測診斷分析和模擬理論研究。

這次實驗國內首次多部雙偏極化都卜勒雷達系統共同觀測(SPOL, XDOP, TEAM-R)豪大雨天氣，伴隨之中尺度對流系統內部降雨、運動、以及水象粒子的分佈，都有完整採樣收集，可深入瞭解豪雨發生的原因和變化。另一方面，實驗期間利用美國高靈敏度 SPOL 雷達系統首次觀測到近岸海洋邊界層氣流輻合帶，有利海洋邊界層淺積雲帶發展，可能是形成近岸有組織豪雨系統的前兆。

實驗期間美國引進之 SPOL 雷達提供了觀測豪大雨系統內部水像粒子的功能。豪大雨天氣系統內是由多種水象粒子(hydrometeor)組合而成，包括冰晶，雪花，過冷水滴，霰(graupel，又稱軟雹)，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，不同的降雨動力過程所得到的結果。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，一般豪大雨天氣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有多重的意義，本實驗

主要關切如何利用雷達觀測回波估計降雨量以及如何改進數值模式準確預報降雨量多寡。實驗期間比對美方 SPOL 雷達與氣象局七股雷達觀測降雨回波估計雨量結果發現，SPOL 雷達利用雙偏極化觀測相位偏差量估計降雨強度較傳統都卜勒雷達為準確，不需另經自動雨量站資料校正，即可得到較合理之雨量估計值。這一部分的研究工作正在深入進行瞭解，有利於改善氣象局現有劇烈天氣監測系統 QPESUMS 的改進。另一方面，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卻沒有定論。若是豪雨過程以混合雲為主，那冰晶過程一個不可少。若是暖雲過程為主，則計算資源或可以節省許多。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。這些氣象相關工作和醫學以及生物科技近年來著重『基因工程』研究有相當多的類似。

台灣地區地形高低起伏變化甚大，當豪雨系統移近台灣時常受到地形影響而有增強或減弱之情況，其過程更加複雜。本次實驗在這方面資料的收集相當豐碩，實驗期間藉由日本、韓國、以及加拿大先進雷達高精度降雨監測超級站所收集之雲物理資料初步分析顯示，豪大雨天氣系統所降下之雨滴譜，以中型粒徑(直徑介於 2 至 5 公厘之間)之雨滴特別多，此一觀測結果為台灣地區豪大雨天氣系統雲物理特性之新發現。而數值預報模式所採用之雲物理過程，即可依據此滴譜分佈特性進行修正，期能增進模式對豪雨系統定量降雨強度之模擬與預報能力。

四、結語

本次實驗計畫透過國際合作，不但收集到許多豪大雨天氣有關的寶貴氣象資料，由於規劃完善，實驗進行順利，獲得國際氣象界一致好評。對於提升我國氣象國際能見度有很大的助益。本實驗計畫獲國際認同，被納入國際季風年(International Monsoon Year)國際合作計畫的一環，也是世界氣象組織推動高衝擊天氣研究(World Weather Research Program)的亞洲示範計畫。

致謝

本次實驗的順利執行，都是許許多多國內作業和學術單位的協助與配合，國際氣象科學界的支持與熱心參與，在此致上最誠摯的感謝。支援

的作業單位有：台灣：交通部（中央氣象局，民航局），國科會（自然處，企劃處），國防部（海軍及空軍司令部，空軍作戰司令部，部氣象中心，空軍氣象聯隊，海軍大氣海洋局，海軍救援艦隊，達觀艦），經濟部（水利署，第七河川局），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（地球觀測實驗室，中尺度模擬實驗室，研究應用實驗室）。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，以及菲律賓氣象局。參與的大學包括：（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，空軍航空技術學院，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。（加拿大）麥基爾大學，（日本）名古屋大學。（韓國）慶北大學，釜慶大學。本實驗計畫是在國科會自然處專案計畫 NSC97-2745-M-002-006-支助下完成。中央氣象局在實驗計畫內的全力支援與配合，是本計畫得以順利成功執行的最主要因素。

參考文獻

<http://sowmex.cwb.gov.tw>網頁有實驗相關之所有文件，包括實驗科學規劃書，作業計畫書，實驗期間每日作業紀錄，天氣預報與科學決策過程，確實觀測項目，儀器狀態統計，資料收集統計，初步分析結果，以及正在進行之工作事項等。有興趣讀者可以直接由此網頁下載需要的資訊。