

綠島中尺度實驗(GIMEX)簡介

周仲島

台灣大學大氣科學系

(2001 年 4 月 25 日收稿；2001 年 5 月 3 日定稿)

一、前言

近年來，台灣遭逢空前巨大自然災害侵襲，如 1999 年 921 集集大地震和 2000 年象神颱風所帶來的汐止地區豪大雨，不僅造成重大人員傷亡及財物損失，更造成國家基礎建設重創，社會大眾不安心理。如何透過基礎與應用氣象科技之整合研究，確實達到防災與減災的最終目標，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，國內氣象相關之學術與作業單位自動自發的組織起來，在國科會自然處提出【台灣災變天氣整合研究計畫】構想，擬整合國內氣象界之人力、設備、以及經費等資源，針對影響台灣地區主要災變天氣系統(侵台颱風和梅雨季鋒面豪雨)之相關大氣過程(包括天氣動力過程、大氣降雨過程、以及大氣邊界層過程等)，採用新大氣探測技術，配合資料分析診斷和數值模擬等研究方法，進行基礎與應用之整合性研究。為使得整合研究計畫得以順利推動，由國內各主要大學大氣科學系負責人，以及中央氣象局局長，共同組成「台灣天氣研究計畫」(Taiwan Weather Research Program: T_WRP)推動小組，負責整體研究計畫的規劃與推動。綠島中尺度實驗(Green Island Mesoscale Experiment: GIMEX)為台灣天氣研究整合計畫所推動之密集氣象觀測實驗，預定今(2001)年 5-6 月於台灣東南海岸地區進行，本文將針對綠島中尺度實驗相關之科學問題和實驗設計予以說明。

二、綠島實驗之緣起與推動

- 1998, 5-6 月：在中央氣象局進行【98 年梅雨季豪大雨觀測與預報實驗 MYEX98】，預報實驗結果顯示台灣東南部地區降水預報和數值模擬結果得分都不理想，可能是缺乏密集觀測資料之故，開始構思在台灣東南方綠島地區進行野外密集觀測實驗的可行性。
- 1998, 8-1999, 7：學術界開始思考建立可移動性雷達的可行性，可移動雷達配合氣象局即將完成之全省雷達網，可獲取大量高時空解析度氣象資料。同時提出在綠島地區進行密集觀測實驗的構想，利用空軍綠島雷達和氣象局即將建立之墾丁雷達，再加上可移動之雙偏振化雷達進行密集觀測。
- 1999, 8 月：在中央氣象局進行【1999 年梅雨季豪大雨觀測與預報實驗成果研討會】，顯示台灣東南部地區降水預報結果仍很不理想，氣象學術界與作業單位開始進行實驗之規劃。由台灣大學周仲島、許武榮、吳清吉教授，以及中央大學陳台琦、林沛練教授，中央氣象局丘台光博士開始進行實驗科學目標以及實驗內容之規劃工作。
- 1999, 12 月：在台大大氣系舉辦【第三屆雷達氣象近期發展研討會】，邀請美國 U. of Oklahoma 教授 Joshua Wurman，和澳大利亞氣象局資深研究員 Tom Keenan 來台討論綠島實驗規劃內容。並前往綠島，實地勘查綠島空軍雷達之性能，以及台東豐年和志航基地的狀況。
- 1999, 12, 29：由謝信良局長邀集國內學術界代表，於中央氣象局會議室進行座談，針對台灣地區災變天氣整合研究構想進行詳細討論。座談會主要結論為成立 T_WRP 規劃小組，預計以十年為期，分三階段規劃。規劃內容由周仲島教授草擬，並擇期向國科會簡報。
- 2000, 1 月：於台大大氣系會議室召開【綠島中尺度實驗】第一次規劃會議，共有興趣之科學家近二十人參加。經過三個多小時的熱烈討論，決定儘速完成下列事項，以使實驗規劃工作得以順利推展。首先成立綠島實驗之科學組、觀測組、以及資料組。分別進行科學目

標規劃、實驗儀器配置設計、以及資料傳輸處理等相關準備工作。並推舉各組召集人如下：<科學組>許武榮和陳台琦；<觀測組>林沛練和吳清吉；<資料組>丘台光和沈哇。科學組同時收集各人有興趣進行之科學目標和實驗需求，予以整合。

- 2000年2月：於中大大氣系舉辦『台灣降雨的數值模擬研討會』，邀請夏威夷大學陳宇能教授、北卡州立大學林玉郎教授、美國國家氣象局莊漢民博士、以及國家太空航空總署陶偉國博士等，針對台灣地區降雨系統特性所進行之數值模擬結果作專題演講，並討論未來研究方向。
- 2000,3月：本人與中央氣象局謝信良局長將GIMEX初步規劃內容刊登於『氣象學會會刊』。綠島實驗之《科學計畫書》和《作業計畫書》初稿，分別由科學組和觀測組完成，並預定在七月上旬進行最後內容討論。觀測組和資料組進行各觀測儀器現況報告與可能放置地點，以及作業計畫書之初稿內容討論。資料組將進行實驗網頁架設、實驗期間資訊傳輸問題探討、準備實驗資料收集處理、以及實驗Quick-look圖集的製作等。
- 2000,3月：計畫辦公室成員在國科會國際合作處支援下，前往美國參加『第二次US_WRP科學研討會』，與美方進行定量降雨預報相關研究交流，並說明台灣預定於明(2001)年九月舉辦中尺度氣象與颱風國際研討會之規劃，以及2004年執行台灣地區中尺度與颱風實驗(TAMEX-II)的構想。US_WRP預定明年三月將參加第三次科學成果研討會，主題為登陸颱風之研究，預定邀請我國代表參加，屆時可將颱風實驗之構想於會中提出，爭取支持。
- 2000,4月：在中央氣象局舉辦【台灣地區登陸颱風研討會】，邀請美國海洋大氣總署科學家Dr. Frank Marks以及美國國家大氣研究中心代理主任Dr. Walter Dabbert和李文兆研究員來台參加，共同研討台灣地形對登陸颱風風雨分佈的可能影響。同時討論利用軍用飛機或商用飛機，進行機載高空投落探空儀(dropsonde)作業之可行性。此一先進觀測設備對偵測颱風外圍環流，以及海上大氣結構具有非常重要意義。
- 2000,5-6月：在中央氣象局進行【2000年梅雨季豪大雨預報實驗】，共執行五次密集觀測期。包括加放03Z探空，雷達密集觀測，以及系集模擬降雨預報實驗。實驗結果顯示：系集定量降雨預報能力仍有很大改進空間，但已可提供相當寶貴參考資料；對由南來的熱帶降雨系統，現有之綜觀檢查表並無法發揮功能，應予以改善。雷達和衛星之降雨估計方法應予以系統化。
- 2000,7月：在台大大氣系舉辦【綠島中尺度實驗規劃研討會】，邀請美國普渡大學商文義教授，報告台灣東南部地區數值模擬結果，以及實驗應注意事項。夏威夷大學陳宇能教授，報告台灣地形對降雨之可能影響，並說明綠島地區在梅雨期間降雨特徵，以及應注意事項。同時進行綠島實驗科學計畫書內容之定稿研討，並討論作業計畫書初步規劃內容。共有國內外有興趣之學者六十餘人參加。
- 2000,8月：由於強烈颱風碧利斯(Bilis)直接侵襲綠島(見圖一)，造成綠島都卜勒雷達嚴重受損。雖然現軍方努力搶修中，但是綠島雷達是否能及時修復，仍不可知。計畫辦公室並已在今年七月和九月舉辦過兩場討論會，針對實驗之科學目標的最後確認、實驗觀測設備的校准、放置地點、和期長，以及密集觀測期之啟動與實驗策略，都做了非常嚴謹與完整的討論；並且對經費需求也進行了最後較精準的估算。因此，綠島中尺度實驗之執行將不受綠島雷達影響，綠島雷達若能即時修復，則實驗設計不做變更。若是綠島雷達來不及修復，氣象局在墾丁與花蓮新建之都卜勒雷達將成為降雨期間主要資料來源，無人飛機探空將與之配合，進行必要觀測策略的改變，以取得實驗最大效益。
- 2000,11月：在中央氣象局舉辦『第四屆雷達氣象近期發展研討會』，邀請美國科羅拉多州立大學教授Richard Johnson，加州大學洛杉磯分校教授Roger Wakimoto，國家海洋大氣總署劇烈風暴實驗是研究員Dr. David Jorgensen，國家大氣研究中心研究員Dr. Wen-Chau Lee，以及日本北海道大學教授Hiroshi Uyeda來台參加研討。此次研討會針對中尺度對流

系統之組織與動力、地形對豪雨系統之動力影響、以及颱風之雷達觀測等近期研究結果進行討論外，並研討預定2004年在台灣全島進行中尺度氣象實驗的觀測策略。會後由本人陪同至氣象局墾丁雷達站和成功氣象站進行實地勘查工作。

三、綠島中尺度實驗內容

(一) 背景說明

由過去多年梅雨季豪雨預報實驗經驗顯示，氣象局現有豪大雨預報得分，以地區分，東部地區表現特別不理想，有很大改進空間(丘1999)。1998梅雨季豪雨觀測與預報實驗(MYEX98)(周等1998)以及1987年台灣地區中尺度實驗TAMEX(Kuo and Chen 1990)密集觀測期間資料收集，以中西部和西北部地區為主，南部地區以及東部地區相關資料尚甚缺乏。颱風季節台灣東部高聳地形以及複雜之大氣結構特徵，對颱風路徑以及颱風行為影響甚大(Tsay 1994; Jou et al. 1996; Cheng et al. 1999)，相對而言，了解相當有限。為改善此一情況，【台灣天氣研究計畫】集合颱風、豪雨、以及局部環流研究群成員，整合規劃於台灣東南部地區進行小型密集觀測實驗，借由密集資料收集分析過程和對應之數值模擬實驗，增加我們對於東南部地區大氣環境的了解，尤其是島嶼地形對氣流和降水的影響，進而改善該地區的定量降雨預報準確度。另一方面，本整合研究群亦將和永續會氣象防災梅雨季豪(大)雨預報研究群成員合作，同時進行全省之豪雨預報實驗，本實驗所收集之高時空解析度資料應可作為改善東南部地區定量降水預報的重要參考。

(二) 實驗預定執行內容

1. 預定進行實驗時間與實驗區域

實驗範圍預定以台灣東南部山區、海岸、以及鄰近海域為主要實驗區域(見圖二)。實驗進行分為三種模式，分別稱為SOP(Special Observing Period, 5/15-6/15), IOP_hr(Intensive Observing Period_heavy rain), 以及IOP-lc(Intensive Observing Period_local circulation, 5/24-5/31)。IOP_hr實驗區域內探空將增加為每六小時一次，IOP-lc期間將實驗區內探空增加為每三小時一次，並增加邊界層測風氣球、無人飛機、以及輪翔氣象飛機測量。SOP期間將在成功站進行整合探空和微波輻射計連續觀測。

2. 實驗科學目標

綠島中尺度實驗針對台灣東南部地區和臨近海域之下列科學問題進行資料收集工作。

- (1) 鋒面之中尺度結構和降雨特徵以及地形之影響(Chen, YL1992; Hsu and Sun 1994; Hor et al. 1998);
- (2) 鋒面前後大氣邊界層特性、局部環流、以及相伴隨之中尺度天氣現象特徵(如中尺度低壓、中尺度氣旋、海陸風或山谷風環流等之日夜變化以及盛行風之影響，見圖六)(Kuo and Chen 1990; Chen and Tsay 1978; Sun et al. 1991; Lin 1993; Chen, CS et al. 1991; Jou 1994);
- (3) 該區之中尺度對流系統降雨與運動場結構特徵以及地形之影響(Jorgensen et al. 1991; Wang et al. 1990; Lin et al. 1990; Chen and Liang 1992; Yu et al. 1999);
- (4) 颱風接近時大氣邊界層結構和風雨分布特徵以及地形對颱風路徑之影響(Tsay 1994; Jou et al. 1996; Cheng et al. 1999);
- (5) 台灣南部恆春半島地形和東南部島嶼地形對該地區之氣流以及降雨系統之影響(Lin and Kuo 1996; Lin et al. 1992)。

3. 實驗之觀測內容

密集觀測部分預定使用之觀測設備包括原有作業單位例行觀測在時間上予以加密外，並將輔以特殊精密觀測儀器。

■ 原有作業單位之觀測

- 地面氣象站：蘭嶼，台東，大武，成功，恆春，花蓮(CWB)；綠島，志航(Air Force)；豐年(CAA)。

- 自動雨量站：(CWB)所屬測站。
- 探空站：花蓮(CWB)；綠島(Air Force)。
- 衛星：GMS；NOAA等衛星資料。
- 雷達：氣象局預定於2001年完成全省雷達網。除了已在其中墾丁已在2001年2月裝置完成S波段都卜勒雷達，目前正測試中。花蓮和七股預定分別在2001年5月和7月裝置完成；。墾丁雷達由於發射強度夠，可利用長脈波觀測晴空之低對流層氣流結構。實驗期間將依不同天氣狀況設計不同之雷達掃描策略以完整有效收集資料。

■ 預定加密之觀測

- 作業探空站加密觀測：花蓮和綠島探空觀測將由每天兩次加密至一天四次或八次，視需要而定。IOP_hr以一天四次了解日夜變化為主，IOP-1c則每三小時一次。
- 為了解島嶼地形對氣流和降水強度與分布的影響，島嶼上游的高空資料至為重要。
- 整合探空系統 ISS(NTU)預備放置於成功，加上配置全球定位衛星之探空 GPS sounding (NTU)，預備放置在綠島，此一組合加上氣象局在花蓮之探空，形成一三角觀測網，有利氣象導數如氣流之輻合輻散的計算。
- 在池上、東河、鹿野、霧鹿、以及台東增置測風氣球觀測，配合成功之 ISS 以及海岸區無人飛機探空之觀測，將可建立一條垂直於海岸山脈，一條平行於花東縱谷的觀測線，以瞭解海陸風和山谷風之發展情形和結構特徵。
- 無人飛機探空 Aerosonde (CWB/NTU)。預備以綠島基地為起降點進行實驗區域之邊界層氣流場和溫度場之量度。可以和探空/ISS 以及都卜勒風場資料進行交叉校驗工作。
- 翰翔公司將提供小型氣象飛機，配合實驗進行東南海域大氣環境觀測。此為第一次台灣自己的氣象飛機進行大氣觀測。
- 微波輻射計(microwave radiometer)，配合地面雷達回波資料、雨滴徑譜儀、和雨量計資料進行台灣東部地區水氣分布和定量降水預報工作。

4. 數值模擬實驗

針對相關之實驗科學目標，將分別利用 NTU-Prudue model，以及 PSU/NCAR MM5 model 針對台灣東南部地區之局部環流以及相關之中尺度天氣現象進行數值模擬實驗，尤其是有關半島地形（恆春）和島嶼地形（綠島）對局部環流以及降雨分布的物理過程。並可協助實驗之細部規劃與設計工作。另一方面配合永續會豪大雨研究群進行定量降水系集預報數值模擬實驗(Yang et al., 2000)。

5. 資源整合情形

氣象局預定提供人員支援，部分探空消耗品，雷達操作與資料收集，移動探空車，場地架設觀測儀器等。空軍氣象聯隊預定提供人員支援，部分探空消耗品，雷達操作與資料收集，場地架設觀測儀器。民航局預定提供人員支援，雷達操作與資料收集，航管人員協助無人飛機探空進行觀測。國科會提供實驗人員差旅費，部分探空消耗品，資料儲存 media 消耗品，租用儀器(microwave radiometer)費，儀器搬動費用等。

6. 預期成果

- 建立台灣東南部地區災變天氣資料庫，收集高時空解析度氣象資料，作為基礎科學研究和下游應用研究的基礎。
- 增進台灣東南部地區災變天氣系統之形成、發展、以及維持之天氣動力過程的了解，以改善現有豪大雨事件和定量降水預報能力。
- 增進台灣東南部地區災變天氣系統與大氣降雨過程和大氣邊界層過程的了解。
- 增進大氣遙測(衛星與雷達等)觀測作業能力和資料應用能力。
- 增進期刊論文之發表，培育基礎氣象科學人才。

四、結語

經由過去多年國內氣象學術界與作業單位在觀測儀器方面不斷更新與建制，以及數值天氣預報模式的積極發展與進步，我國氣象建設在即將跨入二十一世紀已具有相當完備的現代化整體架構。然而如何充分發揮這些建設成果，具體提升各型式之天氣預報準確度，以回饋滿足現代社會的需求，則是我輩氣象從業人員責無旁貸必須正視的問題。

為了正面回應上述的需求，在國內氣象同仁共同奔走下，【台灣天氣研究計畫】(T_WRP)已醞釀成形，並積極與美國天氣研究計畫(US_WRP)進行對話交流。TWRP的最主要目標是具體改善現有定量降雨預報(QPF: Quantitative Precipitation Forecasting)之能力。預計以十年的時間，提升QPF能力達現有水準的一倍。(依據葉等1999報告指出，中央氣象局現有定量降雨預報作業之得分，全省平均約0.2。一般而言西部較東部高，夜間較白天高。)本文所簡介的綠島中尺度實驗可以說是T_WRP整體計畫的初步示範實驗，希望借由實驗的進行，提升國內氣象界對該地區複雜天氣現象的重視，同時也提供一個絕佳的機會，測試現階段我國氣象科學人員，在整合計畫的執行與規劃、實驗設計、密集野外觀測、以及先進設備的操作與使用等方面，獨力運作的情形，以做為未來進行大型實驗的參考。

台灣天氣整合研究群預定於2001年9月26-28日與氣象局共同舉辦國際東亞中尺度氣象與颱風研討會。此研討會係針對影響我國和西北太平洋地區之災變天氣，如颱風和梅雨季鋒面豪雨，以及相關之中尺度天氣現象和過程，邀請東亞和環太平洋地區國際知名學者專家，共同進行相關議題學術研討。除此，並將針對2004或2005年台灣地區進行中尺度氣象實驗的主要科學訴求，進行詳細規劃與討論。本研討會邀請美國NOAA/NSSL/MRD-Boulder負責人Dr. David Jorgensen和本人為會議議程委員會共同主席，Dr. Jorgensen現為『每月天氣回顧』Monthly Weather Review期刊主編和US_WRP計畫代理主席，並已將徵求稿件廣告送美國氣象學會會刊刊登，以邀攬更多國際知名學者參加。

『台灣天氣研究計畫』可視為國內天氣研究之整合計畫。一方面整合國內天氣研究之人力、設備、以及資源，以具體推動大型實驗計畫。另一方面，與國際大型整合計畫接軌，包括『美國天氣研究計畫』和『世界天氣研究計畫』，由國內走向世界，由本土走向國際。『台灣天氣研究計畫』將與現存之大型整合計畫，包括國家防災型計畫，氣象局施政計畫相互協調配合，將國內之天氣研究架構，由上游基礎研究往下延伸至下游應用研究，並進一步延伸至技術轉移與人員培訓，以達到科學成果具體落實的終極目標。

致謝

本文在國科會專題研究計畫 NSC89-2111-M-002-026 經費支援下完成。

參考文獻

- Chen, C. S., W. S. Chen, and Z. S. Deng, (1991) A study of a mountain-generated precipitation system in northern Taiwan during TAMEX IOP8. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2574-2606.
- Chen, G. T. J. and C. Y. Tsay, (1978) A synoptic case study of Mei-Yu near Taiwan. *Pap. Meteor. Res.*, 1, 25-36.
- Chen, G. T. J., and C. Y. Liang, (1992) A midlevel vortex observed in the TAMEX. *JMS Japan*, 70, 25-41.
- Chen, Y. L., (1992) Some synoptic-scale aspects of surface fronts over southern China during TAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 50-64.
- Cheng, C. S., H. Shen, T. H. Hor, and M. H. Chang, (1999) Doppler weather radar data analysis of Typhoon Otto (1998). 3rd Workshop on Recent Development of Radar

Meteorology, December 1999, Taipei, 32-37.

Hor, T.H., M.H., Chang, and B.J.D., Jou, (1998) Mesoscale structure of air flow in a Mei-yu front leading edge observed by aircraft off the east coast of Taiwan during TAMEX IOP9. *JMS Japan*, 76, 473-496.

Hsu, W.R., and W.Y., Sun, (1994) A numerical study of low-level jet and its accompanying secondary circulation in a Mei-Yu system. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 324-340.

Jorgensen, D.P., M.A. LeMone, and B. J.D. Jou, (1991) Precipitation and kinematic structure of an oceanic mesoscale convective system. Part I: Convective line structure. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2608-2637.

Jou, B.J.D., (1994) Mountain-originated mesoscale precipitation system in northern Taiwan: A case study 21 June 1991. *TAO*, 5, 169-197.

Jou, B.J.D., S.M., Deng, and P.L., Chang, (1996) Determination of typhoon center and radius of maximum wind by using Doppler radar. *Atmos. Sci.*, 24, 1-24. (in Chinese)

Kuo, Y.H., and G.T.J., Chen, (1990) The Taiwan area mesoscale experiment (TAMEX): An overview. *Bull. AMS*, 71, 488-503.

Lin, S.M., and H.C., Kuo, (1996) A study of summertime afternoon convection in southern Taiwan during 1994. *Atmos. Sci.*, 24, 249-280. (in Chinese)

Lin, Y.L., (1993) Orographic effects on airflow and mesoscale weather systems over Taiwan. *TAO*, 4, 381-420.

Lin, Y.L., N.H. Lin, and R.P., Wenglarz, (1992) Numerical modeling studies of lee mesolows, mesovortices and mesocyclones with application to the formation of Taiwan mesolows. *Meteor. Atmos. Phys.*, 49, 43-67.

Lin, Y.J., T.C.C. Wang, R.W. Pasken, H. Shen, and Z.S. Deng, (1990) Characteristics of a subtropical squall line determined from TAMEX dual-Doppler data. Part II: Dynamic and thermodynamic structures and momentum budgets. *J. Atmos. Sci.*, 47, 2382-2399.

Sun, W.Y., J.D., Chern, C.C., Wu, and W.R., Hsu, (1991) Numerical simulation of mesoscale circulation in Taiwan and surrounding area. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2558-2573.

Tsay, C.Y., (1994) Orography effects on the structure of Typhoons: Analyses of two Typhoons crossing Taiwan. *TAO*, 5, 313-334.

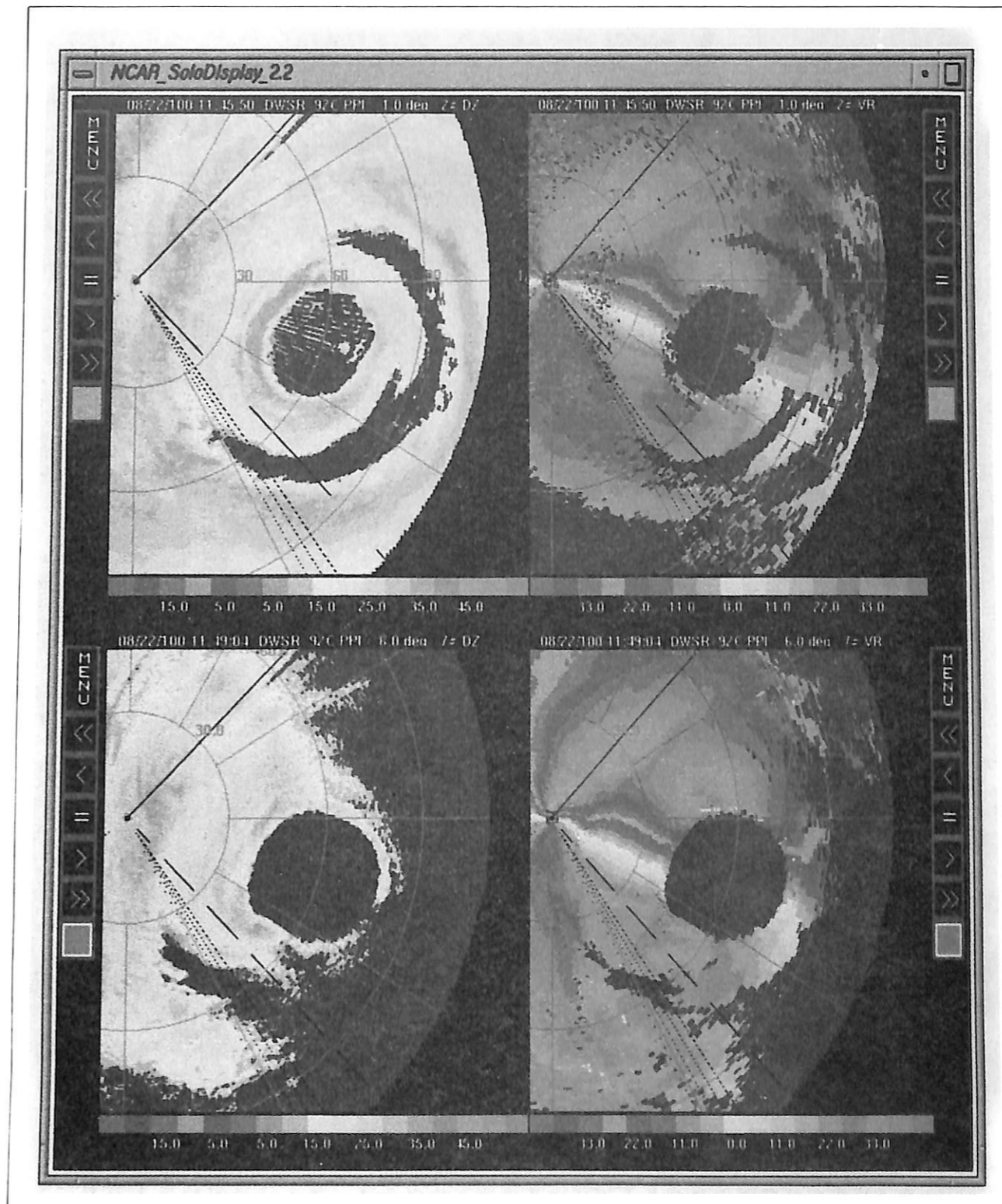
Wang, T.C.C., Y.J. Lin, R.W. Pasken, and H. Shen, (1990) Characteristics of a subtropical squall line determined from TAMEX dual-Doppler data. Part I: Kinematic structure. *J. Atmos. Sci.*, 47, 2357-2381.

Yu, C.K., B.J.D., Jou, and B.F., Smull, (1999) Formative stage of a long-lived mesoscale vortex observed by airborne Doppler radar. *Mon. Wea. Rev.*, 127, 838-857.

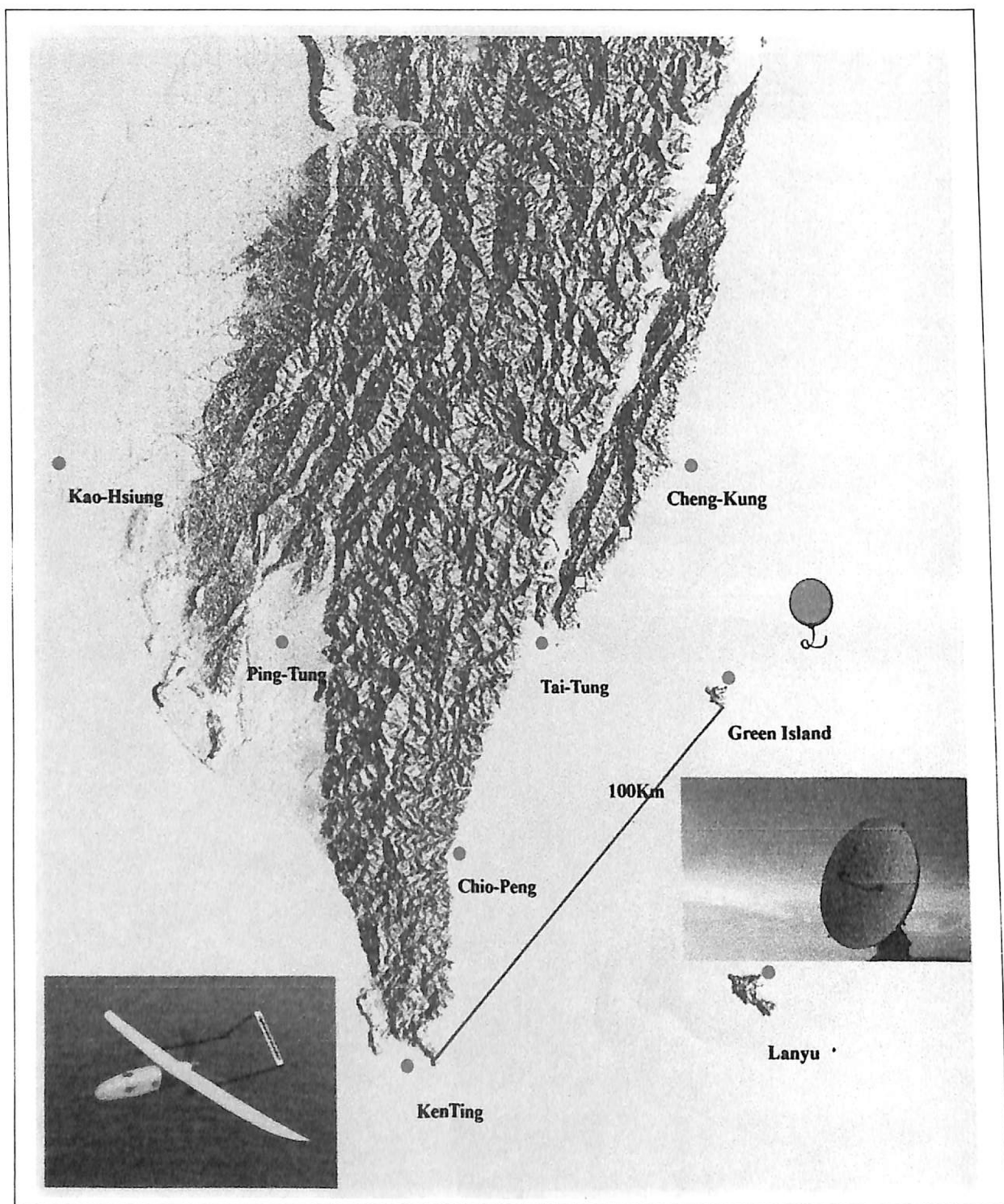
丘台光 (民 88), 1998 年梅雨季豪雨實驗之作業。海峽兩岸災變天氣學術研討會, 1999 年 3 月, 台北市, 75-83。

周仲島、謝信良、張隆男(民 87), 1998 梅雨期豪雨實驗近況。海峽兩岸及鄰近地區豪雨與季風研究研討會, 1998 年 5 月 25-26 日, 台北市, 21-28。

葉天降、張美玉、潘琦, (民 88), 梅雨期模式降水預測之校驗。海峽兩岸災變天氣學術研討會, 1999 年 3 月, 台北市, 104-110。



圖一：空軍氣象聯隊綠島都卜勒雷達觀測侵台颱風碧利斯 (Bilis) 之近中心降雨回波和都卜勒風場的分佈。上圖為仰角 1° 下圖為仰角 6° 之雷達影像。由降雨回波 (左圖, 單位為 dBZ) 可以看出碧利斯颱風為一具同心眼牆 (concentric eye walls, 俗稱雙眼牆) 颱風, 此結構在低層特別明顯, 高層依稀可見。在接近本島時, 碧利斯颱風強度達到最大, 登陸後快速減弱, 而同心眼牆結構也隨即消失。由都卜勒風場 (右圖, 單位公尺每秒) 可以看出, 碧利斯颱風在登陸前, 其近地層強風可達 60 公尺每秒以上。由成功氣象站地面觀測, 碧利斯颱風登陸期間量測最大陣風高達 78 公尺每秒。



圖二、綠島中尺度實驗範圍內相關氣象測站以及複雜之地形分佈。無人飛機對於海上氣象參數的觀測，將扮演重要角色。