

氣象局颱風觀測、研究及預報作業發展之回顧

謝 信 良

摘 要

本文主要探討近五十年來，氣象局推動加強颱風測報的重要措施，包括重大計畫推動的緣由和重要過程，以及針對提升颱風預報作業能力，所推動的重要技術發展計畫及採取的策略與建立的作業系統加以介紹。最後就颱風預報作業之改進包括颱風路徑及風雨預報的進步情形和颱風警報作業之變革分別加以記述。

一、前言

本人曾在氣象局服務 35 年，從基層的預報員做起，有幸親身經歷目睹氣象局的重大變革。從民國 50 年代末期，軟硬體設備相當不足的時代，逐步發展，而轉型邁向作業現代化的過程，以及所曾遭遇的困難問題。回顧過去五十年來，推動氣象局進步的最主要動力與歷次發生重大颱風、豪雨災變有密切關係。因為災害損失，引起政府和社會大眾的關切。為改進颱風、豪雨監測預報能力，爭取經費預算獲得支持，得以有計畫的推動重要硬體及軟體的基礎建設，循序漸進培育人才，參與國際合作引進新技術，落實技術生根，實為作業轉型成功的關鍵。本文將扼要介紹氣象局多年來為加強颱風觀測、相關作業技術之研究發展，藉以提升颱風預報作業能力所作的努力及採取的重要策略與措施。

二、推動加強颱風觀測的重要措施

2.1 建置氣象雷達站網

民國 52 年 9 月 11 日強烈颱風葛樂禮通過基隆北方近海，造成臺灣北部嚴重水災，颱風的監測預報問題引起社會極大的關注。當時氣象局隸屬臺灣省政府，為了加強對來自西太平洋颱風的觀測，53 年起一方面自力籌建花蓮氣象雷達站，另一方面向聯合國世界氣象組織申請技術援助。經聯合國特別基金方案十四屆理事會於民國 54 年 6 月通過實施「防颱風防洪示範計畫」。在此計畫推動下，花蓮氣象雷達於 55 年 1 月啟用。之後，高雄氣象雷達亦於 59 年 1 月在高雄壽山建立完成，開始監測來自南海北部的颱風動向。花蓮採用 Raytheon

公司波長 10 公分的 WSR-64 型雷達，高雄則用 WSR-64 改良型雷達。在民國 50-60 年代觀測颱風只能以人工方式描繪雷達回波，將颱風資料編成電碼，由雷達站傳真臺北局本部供颱風預報使用。70 年 11 月花蓮氣象雷達首次更新為 EEC 公司生產的 WSR-74S 型氣象雷達，74 年 3 月高雄雷達更新為 WSR-81S 型氣象雷達，改以數位彩色影像遠地顯示的方式，提供臺北預報中心使用(圖 1、2)。

由於花蓮、高雄兩氣象雷達電波受到中央山脈阻擋及地球曲度影響，在北部地區形成觀測死角。66 年 7 月 31 日強烈颱風薇拉，於通過蘇澳外海轉向基隆時，雷達無法追蹤到颱風動向。73 年六三水災，大臺北地區超大豪雨造成重大的損失。為彌補兩雷達在北部的空隙，74 年氣象局提出「籌建北部氣象雷達站計畫」，幾經波折，歷經十年，至 85 年 7 月才建置完成北部五分山氣象雷達站，安裝與美國氣象局採用的同型(WSR-88D)都卜勒氣象雷達。五分山都卜勒雷達剛啟用不久，於 7 月 31 日強烈颱風賀伯通過基隆北海岸時，即發揮了監測颱風功能(圖 3)，當時曾測得最大風速每秒 80 公尺，遠超過雷達天線罩抗風設計標準(每秒 60 公尺)，很不幸天線被吹毀，之後經兩年才修復。此雷達除了比傳統雷達有較佳的空間及時間解析能力，並增加了測量徑向風速的功能，可連續每 6 分鐘提供回波強度及徑向風速資料，並以數位彩色圖形方式顯示，直接提供臺北預報人員使用。此後雷達作業軟、硬體亦經多次升級更新，使作業運轉維持最佳狀況。

在氣象局推動建立北部氣象雷達站計畫期間，花蓮及高雄雷達已屆使用年限，面臨汰換更新決擇。當時考量與其地氣象作業單位資

料交換應用需求，於 80 年 2 月舉行氣象雷達網連研討會，取得共識。同年 12 月邀請美國國家大氣研究中心(NCAR)五位專家評估有關雷達網連事宜，除建議採用 WSR-88D 型都卜勒氣象達外，同時建議將高雄雷達站遷到澎湖或臺西與七股之間海岸地區，以解決高雄氣象雷達站因陸地固定回波及海面雜波的干擾，無法觀測該站 75 公里範圍內降水回波的缺點；同時並建議在墾丁增設一座氣象雷達，使氣象雷達之涵蓋範圍向東南方海域延伸約 100 公里，以加強對來自臺灣東南方海面及南海北部颱風之偵測能力，且原高雄氣象雷達偵測颱風的功能可被墾丁氣象雷達取代。氣象局遂決定將其遷往其西北方約 60 公里處的臺南七股，以便有效掌握臺灣西部嘉南平原及西南部屏東地區及中央山脈地區之劇烈天氣系統。

「建立臺灣地區都卜勒氣象雷達網計畫」於 83 年 4 月奉核定，至 91 年 6 月先後完成墾丁、七股及花蓮氣象雷達站的建置及更新啓用。三部雷達均採用德國 Gematronik 公司生產的 METEOR 1000S 型都卜勒雷達，與北部五分山氣象雷達建構成完整觀測網(圖 4)。之後並逐步將四個氣象雷達同步觀測資料加以整合。即時以彩色影像顯示，提供預報人員使用，明顯提升對臺灣四周海域以及陸上出現之颱風及劇烈降水系統的監測預警能力。

2.2 建立氣象衛星接收站

民國 64 年氣象局為配合「世界天氣守視(WWW)計畫」，開始推動籌設「氣象衛星資料接收站計畫」，66 年 7 月 25 日中度颱風賽洛瑪登陸高雄，重創南臺灣。之後該計畫始獲准通過開始執行，70 年元月 28 日才完成建站啓用。

氣象衛星中心自 70 年 1 月 28 日開始作業，僅能接收黑白低解析日本 GMS 地球同步氣象衛星與美國 NOAA 系列之繞極軌道衛星影像資料(圖 5)。73 年進入接收分析彩色之低解析雲圖時期(圖 6)，79 年更新地球同步氣象衛星資料接收及處理系統，由類比訊號變為數位訊號。

過去在颱風之監測，主要以接收 GMS 衛星可見光及紅外線頻道資料為主，繞極軌道衛星資料為輔。在颱風之強度估計與定位則採用 Dvorak (1973、1984) 之颱風中心定位與強

度估計技術，依據雲型與亮度溫度分布決定強度與中心位置。此估計技術受限於傳統衛星頻道關係，如為輕度颱風或中心為濃密卷雲所覆蓋，則無法得到較為準確之定位資料。

除了颱風中心定位與強度估計外，衛星中心也引進民國 70 年代 NESDIS 所發展的降雨潛勢估計法，此種方法主要利用紅外線雲圖之降雨雲型特徵與颱風移速關係，計算颱風之降雨潛勢。但由於並未考慮到對流降雨之結構特性，因此對於颱風降雨有明顯高估情形。後續衛星中心亦引進 Vicente et al.(1998)、Adler & Mack(1984)與 Adler & Negri(1988)、Vicente et al.(1998) 等人所發展之定量降雨技術，使高估的情形獲得改進。

民國 88 年 NOAA 繞極軌道系列衛星搭載新的微波探空儀(AMSU)，隨後氣象局於 92 年開始接收 EOS 地球資源系列衛星之 AQUA、TERRA 衛星之 MODIS 感測儀器與 AQUA 衛星 AMSR-E 多頻道微波輻射儀等繞極軌道衛星資料。由於微波多頻道的觀測特性，提供了天氣分析人員更多的颱風結構資訊，除了颱風的強度估計與中心定位外，微波頻道具有穿透高層卷雲特性，可提供更為精確的颱風雲下中心位置。此外，利用衛星多頻道資料，可反演颱風之時雨量、海面風、可降水量、熱帶氣旋熱潛勢與海面溫度(圖 7)等衍生產品。

2.3 佈建密集的自動雨量觀測網

自民國 75 年起，為了加強區域性豪雨的即時監測，逐年分期在臺灣各主要河川流域、山區及平地都會區佈建自動雨量站。76 年 10 月 24-25 日琳恩颱風通過巴士海峽在臺北地區發生超大豪雨，基隆河水位暴漲，沿岸河水溢堤，造成民生社區嚴重淹水，損失慘重。當時第一期北部含臺北、桃、竹、苗地區 40 個自動雨量剛佈建完成，即時發揮了測報功能(圖 8)。整個臺灣地區的自動雨量觀測網，歷經十年於 84 年才告完成。85 年 7 月底賀伯颱風侵襲，當時造成臺灣自 48 年八七水災以來最嚴重的水災及土石流災情，此觀測網首次即時收集到全臺最完整的颱風降雨資料。88 年九二一地震之後，於災區陸續增設更多新站，增加觀測網密度(圖 9)，以配合因應監控山區土石流的需求。近十多年來自動雨量站對颱風豪雨的即時監測及預警已發揮了重要的功能。

三、預報作業應用技術之發展

為了改進颱風預報能力，氣象局採取國際合作的策略，發展引進作業所需之新技術。

3.1 數值天氣預報系統之發展與建置

民國 72 年氣象局為了提升颱風、豪雨等災變天氣的預報能力，開始推動「氣象業務全面電腦化計畫」，分三階段進行。自 72-90 年，為期十八年，計畫的主要重點目標是發展數值天氣預報模式，包括全球、區域、中尺度及颱風路徑預報四個模式，同時為配合數值預報作業系統的建立及上線作業，引進了高速電腦。在第一期(72-78 年)完全委外發展，第二期(79-83 年)派員參與發展，培育發展數值天氣預報人員，建立作業系統自行維護的能力。第三期(84-90 年)則以自行發展為主，請國外顧問技術指導。颱風路徑預報模式自 79 年上線作業之後，繼續不斷改進，由 88 年 24/48/72 小時路徑預測平均誤差為 156/276/516 公里，逐漸進步到 93 年 24/48/72 小時路徑預報平均誤差降至 114/213/362 公里，99 年之 24/48/72 小時路徑預報平均誤差更減為 86/183/326 公里(圖 10)，颱風路徑預報模式不僅在實際颱風警報作業提供重要的客觀指引，同時使颱風路徑預報有效期限由 24 小時預報延長至 72 小時。

3.2 研發引進天氣資料整合及即時天氣預報系統(WINS)

民國 82 年氣象局與美國 NOAA/FSL 簽訂「中美氣象預報系統發展技術合作協議」。在此協議下，採取與美國海洋大氣總署(NOAA)所屬預報系統實驗室(FSL)合作發展的策略，引進新技術，建立本土化之 WINS 系統，整合即時天氣觀測資料、氣象雷達及衛星資料、自動雨量站資料、以及數值天氣預報模式產品，利用電腦工作站做為作業平台，提供快速整合天氣分析預報研判所需各種資訊的利器，大幅增進例行天氣預報及颱風預報作業的效能。

3.3 發展建置極短時定量降水估計及預測系統(QPESUMS)

氣象局為加強對颱風、豪雨、雷暴等災害性天氣的監測，增進極短時豪雨之預警能力，自民國 91 年起與美國國家劇烈風暴實驗室(NSSL)共同合作研發適用於臺灣地區的 QPESUMS 系統。整合氣象雷達、衛星、自動

雨量站即時觀測資料及閃電觀測資料，發展極短時定量降雨估計及預報技術。之後經濟部水利署及農委會水土保持局也共同參與。自 92 年起氣象局開始將 QPESUMS 系統發展出來的產品結合地理資訊包括每 10 分鐘更新一次即時劇烈天氣監測資訊、過去 72 小時內高解析度之定量降水估計、即時閃電資料分析及未來 0-1 小時定量降雨預報等產品，透過電腦連線方式即時提供水利署、水土保持局、中央災害應變中心、國家災害防救科技中心及各縣市政府 40 個相關防洪及救災單位應用，已獲得高度肯定。

四、颱風預報作業

4.1 颱風路徑預報

颱風路徑預報是颱風警報作業最重要的一環。在民國 50 至 60 年代初，路徑預測以主觀經驗為主，利用綜觀天氣圖分析外延，以及使用一些定性的預報指引，例如單層駛流法、各層氣流合成分析法、高壓對颱風路徑的影響、中低緯度槽線對颱風路徑影響、中高緯度阻塞天氣形勢對颱風的影響、高層冷渦對颱風路徑影響等各種天氣類型，雙颱風及多颱風效應，K 指數法，500hPa 五日平均圖法，可降水量法等，綜合研判未來 12~24 小時的行徑。另使用當時唯一的客觀預報指引為荒川(Arakawa)法，利用地面天氣圖，選出颱風周圍環境場與颱風移動相關係數高的控制點氣壓，所建之迴歸方程式，僅可作 12 及 24 小時颱風路徑預報。

60 年代中期開始引進氣候統計客觀預報方法，包括颱風類比法(HURRAN)、氣候持續法(CLIPER)、持續氣候法(PC)、NSC-74 法、CWB-81 法等，提供了更佳的預報指引。經實際作業校驗，顯示氣候統計路徑預報可與當時官方的預報結果相比。然而氣候統計預報方法，對於路徑突然變化或路徑異常的颱風，預報結果有呈現反應慢半拍的情形，無法事先有效掌握颱風動向。

66 年氣象局首次引進相當正壓模式，之後發現，颱風動力預報模式，對颱風路徑預報的改進具有潛力。

80 年代氣象局颱風路徑預報系統(TFS)正式上線，配合 WINS 系統的建立，使颱風路徑

預報改以數值預報模式為主，傳統方法為輔。92年起氣象局進一步運用不同的模式，包括來自ECMWF、NCEP、JMA、UK等的模式產品，發展建立颱風路徑系集預報(Ensemble forecast)系統，94年開始啓用之後，更大幅的縮小颱風路徑預報誤差。歷年來氣象局官方颱風路徑預報的進步情形，見圖11。在此同時氣象局對外提供的颱風路徑潛勢預報更由72小時延長至五日。

五、颱風警報作業之變革

5.1 颱風警報發布頻率

民國78年以前海上陸上颱風警報，每隔6小時發布一次，79年起改為每3小時發布一次，自83年起除每3小時發布一次颱風路徑預報，更在每次警報之間每小時加發一次最新颱風位置動態，以因應外界需求。

5.2 颱風警報單製作

民國63年11月以前颱風警報內容定稿之後，警報單全以手寫、製圖。52年9月葛樂禮颱風警報期間起，警報單的文字內容改鉛字打印，人工繪圖。78年颱風警報單改以電腦打字，人工繪圖。80年10月起颱風警報單文字排版編輯及颱風動態圖製作，全面電腦化作業，大幅改進警報單製作的時效。

5.3 颱風警報之發布、傳遞方式

早期颱風警報單由人工遞送，提供媒體報導時效十分緩慢。70年代中期改採電話傳真，透過電信局以廣播方式同時對許多不同的單位傳送，明顯縮短傳遞的時效。90年代改為全自動化作業，透過電腦網際網路及氣象局網站對外提供颱風訊息，不僅資訊更新頻率加快，且內容又多元化。

六、結語

颱風預報是天氣預報作業中，難度最高且最具挑戰性的工作。近年來氣象局面對氣候異常，颱風降兩極端化，在颱風預報上面臨嚴峻的考驗。多年來氣象局在颱風路徑預報已有長足的進步，但社會大眾及防災單位要求不斷增加的情況下，對於颱風風力及雨量預報準確度的再提升，更是刻不容緩。目前氣象局正積極與學術界合作，尋求技術上的突破，願在此與氣象局同仁共勉，並期望在颱風預報的努力與進步能更上一層樓。

七、參考文獻

- 颱風預報作業手冊：1997，中央氣象編印。
- 顧欣怡、呂國臣、賈新興，2003：數值模式在颱風路徑預報之應用，天氣分析與預報研討會論文集編。
- 謝信良、劉復誠，1980：現行颱風雨量與風力預報作業，天氣分析與預報研討會論文集編，1~11。
- 謝信良，1989：中央氣象局現階段之颱風預報作業。
- Arakawa, H, 1964 : Statical Method to Forecast the Movement and the Central Pressure of Typhoon in the Western North Pacific, J. Applied Met. 3, 524-528。
- 李清勝，1988：臺灣地區颱風路徑之預報分析，大氣科學 116，133-140。
- 吳宗堯、謝信良，1988、1989：現有颱風研究成果作業化之研究(一)，國科會防災科技研究報告 77-22 號，144pp。
- 胡仲英、陳熙揚，1976：利用客觀比擬法預報颱風路徑之研究，氣象學報，22，8-16。
- 陳毓雷，1978：大漢河流域颱風暴雨預報之研究，氣象預報與分析，74，16-26。
- 蔡清彥，1977：颱風路徑之數預報實驗，國立臺灣大學大氣科學系研究報告，NWP-04 號。
- 賈新興，2002：颱風路徑系集預報系統，天氣分析與預報研討會論文集編(91)氣象，63-66。
- 王時鼎、陳泰然、謝信良，1983，1985，1986：臺灣颱風降雨特性及其預報研究，國科會防災科技研究報告 72-13、73-47、74-51 號。

八、致謝

本報告得以完成，承蒙衛星中心陳嘉榮主任，齊祿祥課長，四組黃維智組長、周思運博士，預報中心呂國臣副主任，喬俊盛簡任技正，劉志信博士，一組謝明昌科長，二組林大偉科長，科技中心簡國基科長、陳得松助理研究員，資訊中心申湘雄主任，劉國隆副主任等提供寶貴的資料及圖表和相關的協助。李金蓮小姐協助文稿的打字編輯，張儀峰先生幫忙校稿，特此一併致謝。

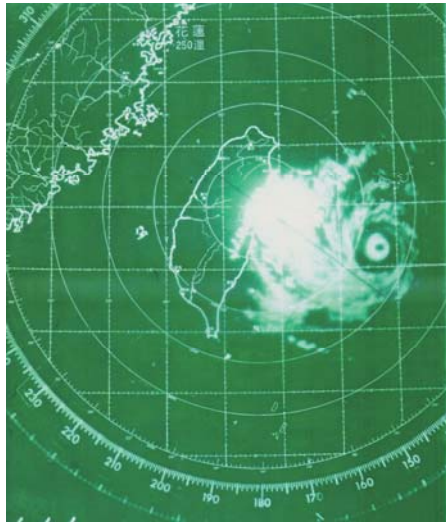


圖 1 1964 年妮娜颱風花蓮雷達回波圖

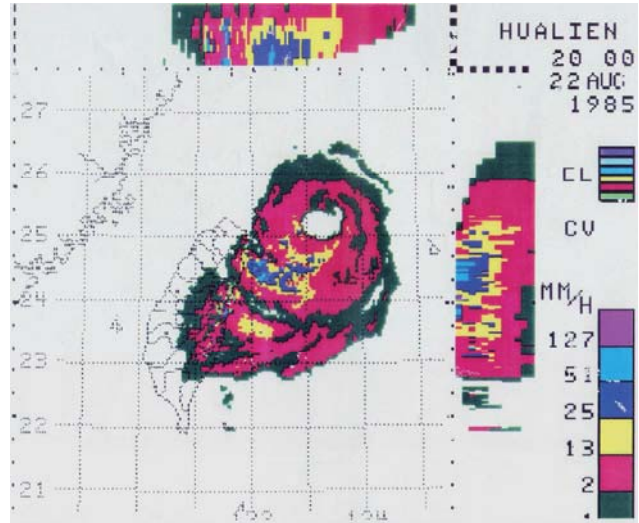


圖 2 1985 年尼爾森颱風花蓮雷達回波圖

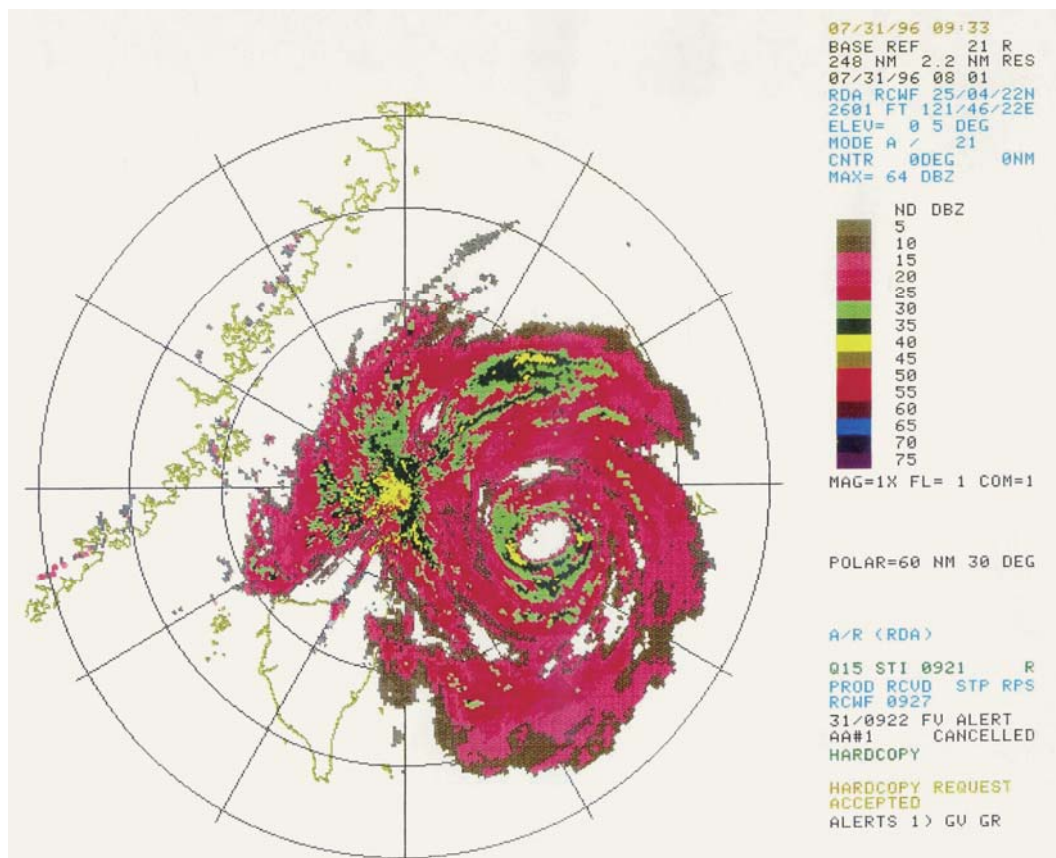


圖 3 1996 年賀伯颱風五分山雷達回波圖

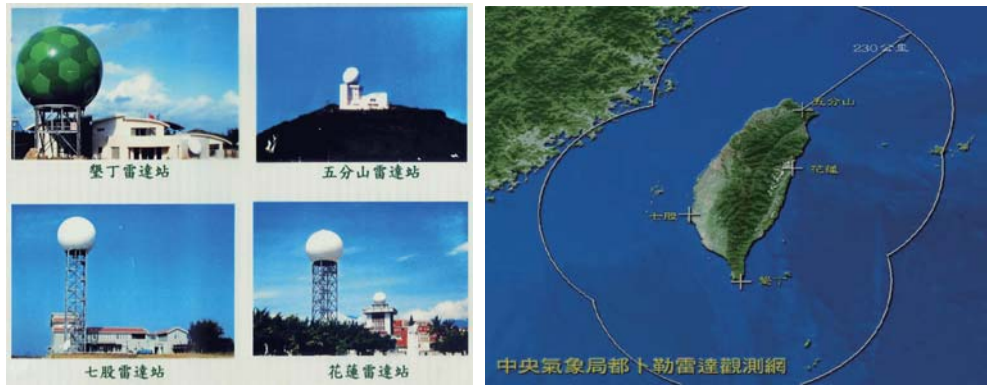


圖 4 中央氣象局都卜勒雷達觀測網

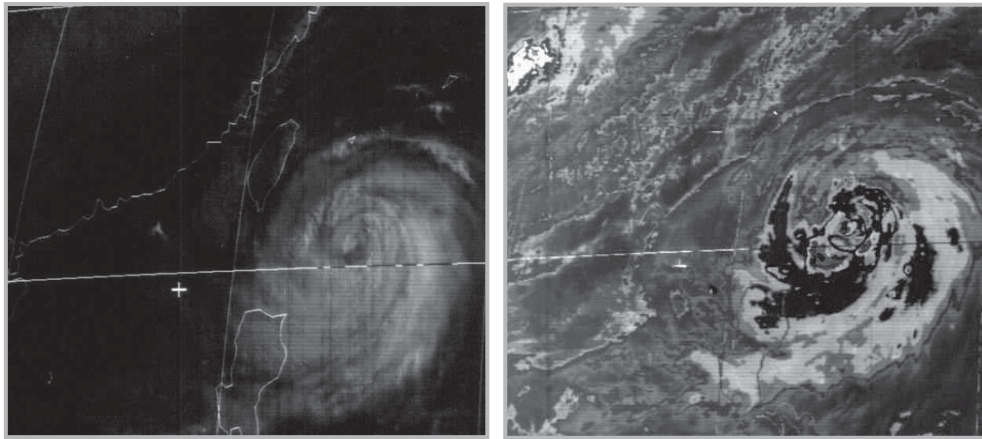


圖 5 1982 年 7 月 28 日 0000 UTC 日本 GMS-2 之可見光與紅外線色調強化雲圖，圖中為強烈颱風安迪（ANDY）。

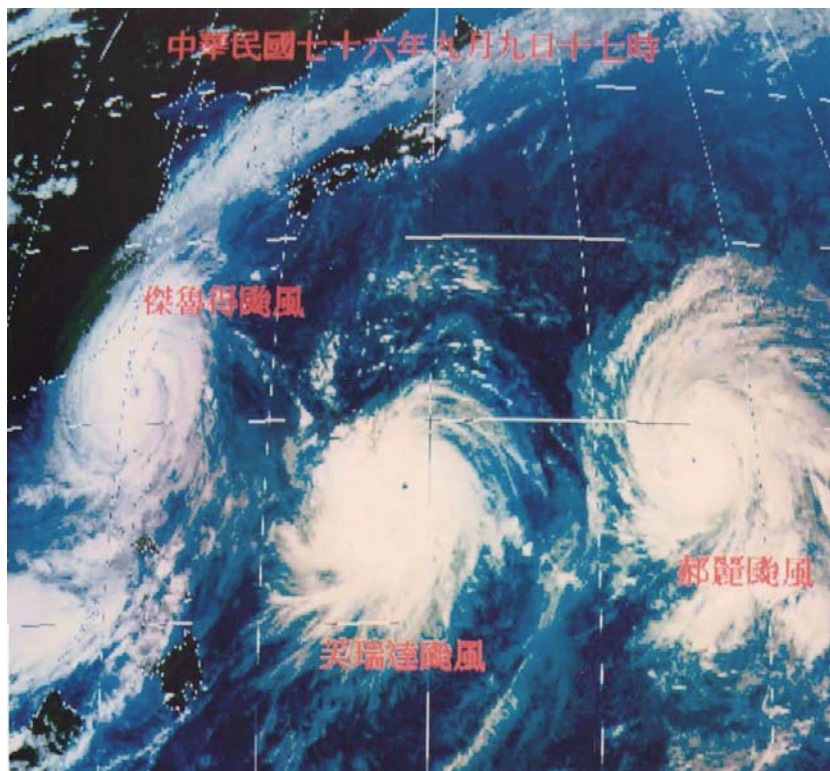


圖 6 1986 年 9 月 9 日 0600 UTC 日本 GMS-2 之紅外線色調強化雲圖

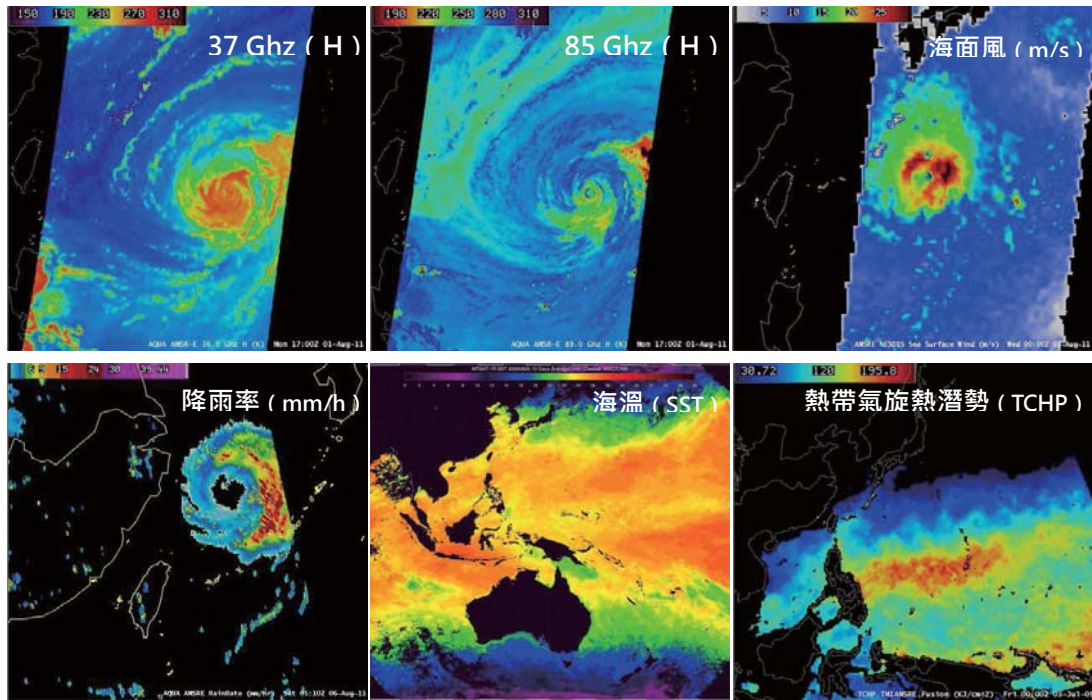


圖 7 微波資料所反演之產品。

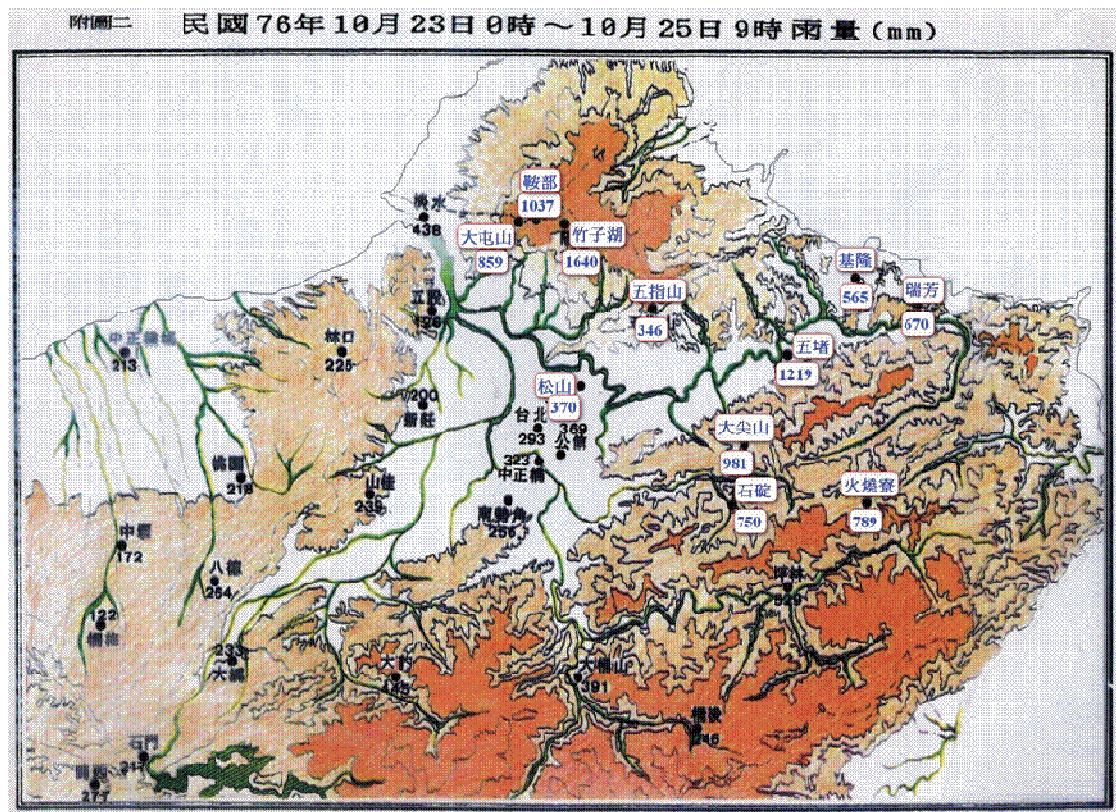


圖 8 1987 年琳恩颱風侵臺期間北部自動雨量站雨量分佈圖

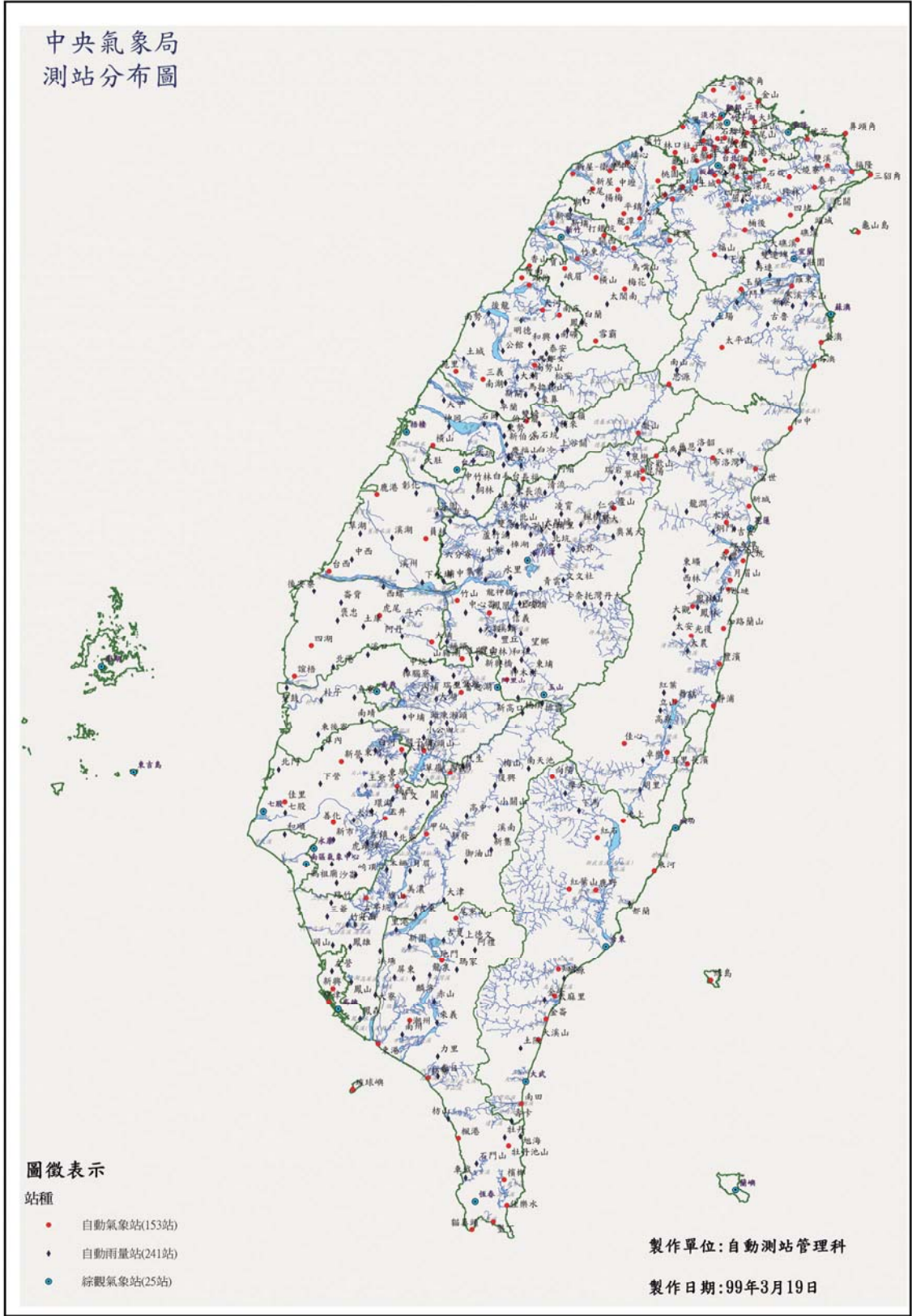


圖 9 臺灣地區自動雨量站分佈圖

Typhoon track forecast errors from 1999 to 2010 of CWB typhoon model

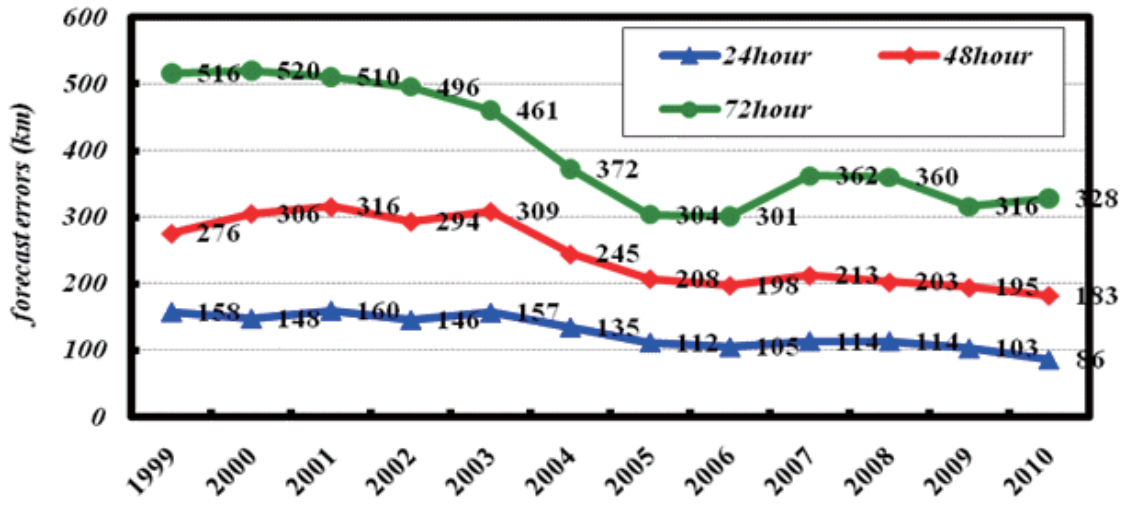


圖 10 中央氣象局數值颱風模式自 1990 年至 2010 年之 24/48/72 小時颱風路徑預測平均誤差(公里)

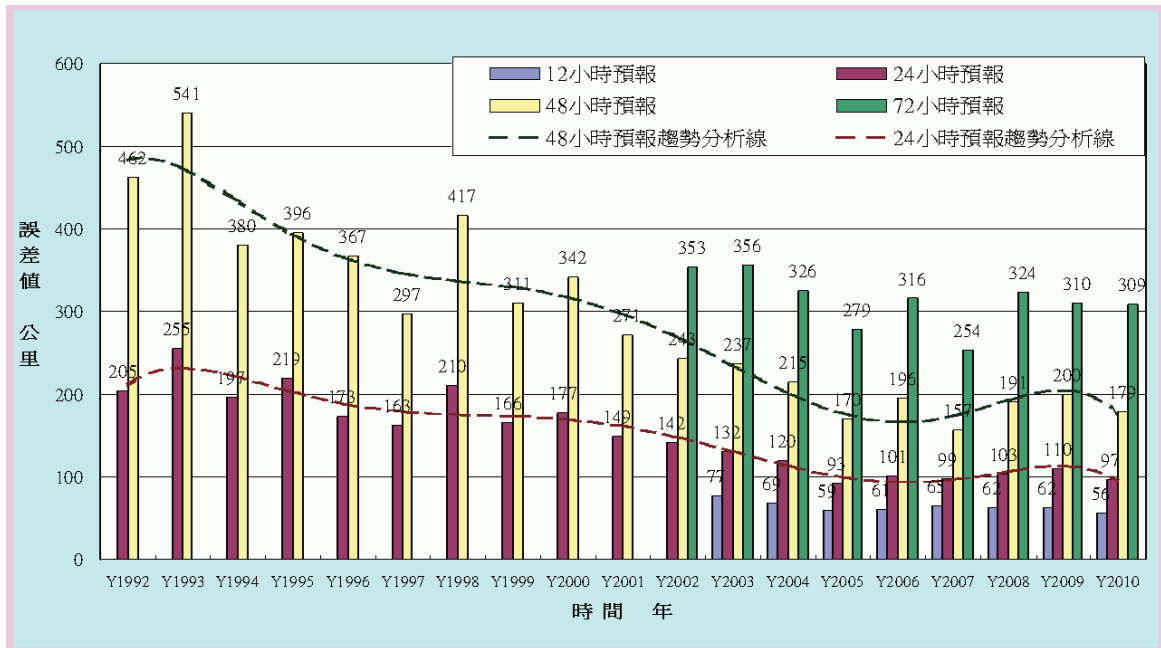


圖 11 氣象局官方颱風路徑預報誤差校驗(1992-2010)