

台灣先進氣象觀測儀器與相關研究

林沛練 劉振榮 陳台琦
國立中央大學 大氣物理研究所

(中華民國八十三年十一月二十四日收稿；中華民國八十四年三月十三日定稿)

摘 要

台灣地區近十年來，氣象觀測儀器有大幅度的進步，其中包括了自動化地面測站、密集雨量測站網、數位化衛星資料接收處理、進步的都普勒雷達網等多項儀器之改善及設置，最近更從美國國家大氣科學研究中心引進先進的整合探空系統ISS(Integrated Sounding System)。本文將以整合探空系統的觀測、氣象雷達的發展、和衛星資料之應用，以及利用這些儀器所進行之觀測研究做為代表，做一個簡單的介紹。因為此三項在未來發展潛力極大，將會對未來十年的氣象作業觀測及研究發生重大的影響。大量的高解析高品質雷達、衛星的資料將即時經由作業系統收集，可以得到詳細的天氣系統之雲系、水氣分佈及降水系統結構。而整合探空系統則可以提供定點上空特別是邊界層詳細的風場、溫度場以及水氣場隨時間之密集變化。

在迎接這些新而多的的資訊之前，能預先做好前置之研究，應是這幾年值得投入的工作。除了國際合作之實驗外，國內這兩年開始利用這些先進氣象觀測儀器進行小規模之觀測實驗，如何整合利用作業單位與學術單位之儀器，做一些較完整之觀測，且期望對本土相關之大氣現象有進一步之探索與了解，也是本文希望能藉著觀測研究之介紹而能進一步集思廣義，為未來的實驗投射一個遠景。

關鍵詞：氣象觀測、雷達、衛星、整合探空系統

一、前 言

中尺度大氣各種物理過程的觀測研究經常需要良好時間、空間解析度的風場、溫度場以及水汽場的觀測資料，以往不論是作業用或是研究用，沒有任何一種觀測系統可以經常例行的提供這些測量資料。

為了克服各種單一測量儀器個別的測量限制，整合發揮各種不同的現場測量和遙感探測儀器之優點，美國國家大氣研究中心(NCAR)和國家海洋大氣總署(NOAA)科學家與工程師合

力設計發展了新式整合探空系統(ISS - Integrated Sounding System)。整合探空系統結合了現場測量與遙感探測儀器之特性整合成一套單一可移動的觀測系統, 此系統包括915MHz 剖風儀(Wind Profiler), 聲波探空系統(RASS), OMEGA 訊號航行定位氣球探空系統以及一組強化精確的地面觀測站。本文第一部分除了介紹整合探空系統之特性外, 也以此系統在國際熱帶海洋 / 全球大氣計劃(TOGA) 推動之海洋 / 大氣耦合反應國際觀測實驗(COARE) 以及在台灣的觀測實例來說明這種新型探空系統的觀測能力以及在大氣科學上之應用。

全世界的氣象雷達網在未來十年都將逐步汰舊換新, 傳統提供回波資料雷達都將為新型之都普勒雷達所取代。如新一代雷達(NEXRAD : NEXt generation RADar, WSR-88D), 及機場之TDWR (Terminal Doppler Weather Radar)。此類雷達將提供高解析度都普勒徑向風場, 對中尺度氣象之觀測有大幅度之提升。對於颱風、豪雨、鋒面動態、熱雷雨等, 都可做精確的觀測, 進而可做估計雨量、風場, 了解降水結構等研究。本文第二部分將討論都普勒雷達在台灣地區應用及研究之實例, 及對未來規劃之雷達網的展望。

過去幾十年來, 氣象衛星計畫從提供定性的雲圖進步到提供氣溫、水汽、風系的定量觀測結果。基本而言, 全球有兩種氣象衛星系統, 一為太陽同步衛星, 每隔12小時可以通過某一定地點附近一次, 觀測海面溫度、氣溫及水汽垂直分布以及其它如臭氧等稀有氣體可提供作為全球數值天氣預報的初始值與天氣分析之用。另一為地球同步衛星可對地表大約四分之一面積進行連續觀測, 其主要任務為監測快速發展的風暴, 如局地劇烈風暴和颱風等, 並且追蹤雲的移動以便估計風速。近年來發展的地球同步衛星也具有探測氣溫和水汽垂直分布的能力。由於氣象衛星之功能與日俱增, 對於人類有相當的貢獻, 值得深入地探討。國立中央大學太空及遙測研究中心於1992年9月於校區內架設NOAA 繞極軌道和GMS 同步衛星之資料接收系統, 對國內之氣象衛星遙測之研究和技術提供更進一步的資訊。本文第三部分將討論衛星資料過去幾年來在台灣地區的應用與研究。

二、整合探空系統的特性以及在大氣科學研究上之應用

(一)、發展整合探空系統之背景

大氣的研究與作業單位長久以來對發展一套高解析度的對流層探空系統, 克服時空間隔的限制以支援中尺度大氣現象之分析與預報, 一直有著強烈的需求。過去二十年來不論是遙感探測或是現場測量的儀器與技術的發展均有長足之進步, 其中更以對流層的剖風技術在氣象參數之測量應用上更有快速的發展(如Dabberdt and Hardesty 1990 ; Hooke et al. 1990)。由於測量技術之改良因而提高了資料的時間與高度的解析度, 科學家得以改善以往利用傳統探空資料所不能進行之對中尺度大氣現象的詳盡描述, 例如剖風儀(Wind Profiler) 曾成功的被用來描述鋒面和噴流(Shapiro et al. 1984) 以及中尺度對流系統(Augustine and Zipser, 1987) 的結構。剖風儀觀測網的測量資料也被廣泛的應用於中緯度天氣(Strauch et al., 1984; Zamora et al., 1989) 與熱帶環流(Gage et al., 1991) 之探討。

在這些測量技術可以使我們對大氣環流有深一層認識之同時，四度空間的風場、溫度場以及水汽場資料，是科學家對中尺度大氣過程觀測與分析的迫切需求。不論是作業用或研究用，沒有任何一種觀測系統可以經常例行的提供這種測量，雖然剖風儀以及其他的遙感系統可以提供對流層到平流層高解析的風垂直分布資料，但是以目前之儀器及技術，對溫度以及水汽之測量仍然有許多的限制(Smith et al, 1990)。基本上我們只能得到有限數量的溫濕度資料，而且需要付出相當的人力以及經費支出。現場測量的地面或探空系統雖然可以彌補遙感儀器測量之不足，但也相對帶來許多的限制，例如，航行定位(NAVOID)式的氣球探空系統，雖然可以測量一些基本的大氣參數，但也僅侷限於氣球飄移的路徑上，當施放的頻率增加時，消耗之材料與人力資源也會顯著的增加。

結合多種不同之現場測量與遙感探測儀器於單一地點進行同時之測量已被證明是氣象分析相當有潛力的一種觀測工具(例如 Parsons et al., 1991; Dabberdt et al, 1993)。現場測量儀器和遙感探測儀器如果能夠經由適當軟硬體介面的整合，不但可以克服單一儀器之測量缺點或限制，而且更可以整合發揮各單一感應儀器之優越性能，整合探空系統即是基於這種理念而由美國國家大氣研究中心(NCAR)與美國國家海洋大氣總署(NOAA)的科學家和工程師合力設計發展而成的。這是一種新式整合性、連續、高解析的對流層探空系統。它可以提供時間、高度相當良好解析度的風、溫度以及濕度之垂直分布測量資料並且配有相當精確的改良型地面觀測站。ISS的觀測網不但可以支援高解析度之中尺度觀測實驗，而且也可以進行四度空間資料同化模式之發展。

(二)整合探空系統的特性

ISS 基本站以及各種子系統如圖1所示，參與 TOGA COARE 的 ISS 系統包括

- 915 MHz 都普勒晴空剖風雷達(Wind Profiling Radar)
- 無線電聲波探空系統(RASS)
- 航行定位式(LORAN / OMEGA)氣球探空系統
- 精密改良型地面觀測站

最早設計完成的第一批六套整合探空系統被安裝在熱帶西太平洋的四個島嶼和兩艘探測船上面，用來支援國際熱帶海洋／全球大氣計劃(TOGA)以達成國際熱帶海洋／全球大氣耦合反應觀測實驗(TOGA COARE)的科學目標(Webster and Lukas 1992 ; Parsons et al, 1994)。TOGA COARE 實驗之後仍有兩套 ISS 留在 Manus 以及 Nauru 島以持續進行長期的熱帶觀測作業，另外三套 ISS 屬於美國國家科學基金會，由美國國家大氣研究中心之大氣技術發展部門負責保管以支援各種實驗觀測，最後一套 ISS 係由我國國科會與中央大學共同出資委託美國國家大氣研究中心製造，先在諾魯島參加將近一年的 TOGA COARE 加強觀測期的觀測之後於 82 年 12 月運回國內安裝於中央大學的校園內，目前已將此套系統納入國科會中壢貴儀中心管理，以支援國內大氣科學之觀測作業與研究。

1、多頻剖風儀及 RASS

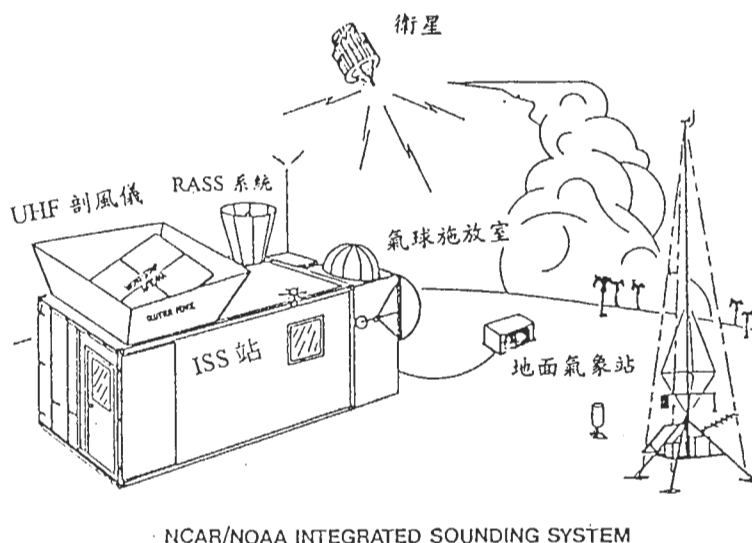


圖1 整合探空系統(ISS)示意圖。

過去十幾年來，地面作業式的遙測剖風探空系統之發展有很快速的進展，都普勒剖風儀不斷被利用於主要的觀測實驗以及個案之特別觀測作業。剖風儀之操作主要有幾種頻帶，例如 50MHz 的 VHF，405MHz 及 915MHz 的 UHF 頻帶。無線電聲波探測系統(RASS)之技術，過去幾年來也有很大的進展，將之與剖風儀結合，可以用來測量虛溫的剖面分布。有關都普勒剖風儀的設計理念，Balsley and Gage (1982) 有著詳細的回顧與描述，每一觀測頻帶均有其優點與缺點，因此整合性探空系統頻道之選擇必需有特別之考量，當然最好是有多頻的設計，例如聲波消滅特性在低頻時較弱，因此 RASS 利用 50MHz 之頻道可以測量至 10KM 以上的溫度分布；反之，利用 915MHz 時就只能測量 1-2 公里之高度。低頻之 VHF 雷達也具有受到降水較弱干擾的優點，因此是測量對流層頂之利器。當然 UHF 雷達沒法像 VHF 雷達那樣可以測量到較高之高度，但是它有經濟、體積小以及易安裝之特性。915MHz 雷達可以測得低對流層垂直解析度相當好之剖風資料，但卻極易受到降水之干擾，即使是小雨都有影響，然也因此種特性可用來研究雨滴大小之分布。目前國科會中壢貴儀中心同時擁有 915MHz (ISS 的 UHF 雷達) 以及 50MHz (VHF 雷達) 的雷達，因此若能將 915MHz 與 50 MHz 雷達的資料整合就可能提供雨滴相對於空氣之下降速度，以及雨滴大小分布之測量。

2、航行定位式探空系統

航行定位式(NAVOID)大氣探空系統乃 1984-1985 年間 NCAR 開始發展的儀器以符合大氣群體對中尺度研究高品質探空的需求。航行定位式是一獨立、可移動的高空探測系統，裝置於 3.6 公尺 × 2.4 公尺 × 2.1 公尺的拖車貨櫃內。貨櫃包含一氣體充氣與釋放的裝置，電子軌跡追蹤器以接收探空儀無線電頻率之訊號，另一個人電腦用以資料收集處理以及系統控制。探空氣球因為在 ISS 貨櫃工作室內充氣施放，因此操作時受天氣狀況影響較小。即時傳回來的探空資料包括 10 秒平均之風以及其他氣象資料。探空風資料由三個或三個以上 LORAN C 或 OMEGA 發射站發射之訊號到達的時間定位計算之。

航行定位式探空系統之直接測量訊號或推導量包括高度、露點溫度、溫度、氣壓、濕度以及風之資料，繪圖分析可在觀測中或觀測後進行，圖形包括探空分析(SKEW-T LOG-P)等，WMO之標準層以及特性層資料可自動編碼以便GTS傳輸。由於西太平洋地區CLASS發射站只有兩站，因此安置在整合探空系統內部的是OMEGA訊號航行定位氣球探空系統。兩者性質類似，但OMEGA發射站較多。

3、地面氣象站

地面測站可以測量地面風、溫度、氣壓以及濕度等資料，這些例行之氣象變數均用NCAR移動式自動觀測的地面氣象站(PAM II)來觀測，另外亦保留探測地表能量收支直接測量之能力，這包括淨輻射、可感熱及潛熱通量、土壤溫度、水汽以及熱通量。地面能量收支之測量技術可與NCAR ASTER系統配合，例行之氣象要素測量以及地表能量平衡測量都以ASTER的自動資料收集系統處理，再經線上或離線方式，將資料送進計算機處理。

4、ISS資料處理系統

一部工作站，兩部個人電腦，再加上一區域性網路以及UNIX的作業系統組成ISS基本的軟體計算環境，UHF剖面儀與Omega的探空系統個別由一部個人型電腦來控制訊號之處理與資料之接收，Sun工作站則主要用在資料之整合，圖形顯示以及各種資料產品的儲存與管理。由於各個子系統之作業控制與資料接收係由個別的電腦來控制，如此可以避免子系統間相互之依存與干擾。

ISS的資料處理環境基本上修改自美國NCAR所發展的Zeb套裝軟體系統(Corbet and Mueller 1991)，此系統係架築在標準的Unix系統上面，有很強的資料接收、整合、氣象產品製造與圖形顯示的功能，而且具有操作方便、修改容易、可以加減觀測儀器以及改變資料格式之特點。ISS系統上的Zeb套裝軟體大致具有下列的特性：

a. 即時觀測資料之收集

ISS的各個子觀測系統量測到資料之後即連續的透過區域網路將資料傳進中央工作站的資料庫中，每一種觀測資料基本上是以一個檔案的形式進入工作站的資料庫。軟體系統負責偵查觀測子系統是否正常作業，資料之初步品質控制以及資料之擷取等動作。

b. 即時資料庫的建立

所有ISS子系統所測量到的資料均被安置在即時資料庫中，其他應用到此即時資料庫的系統，在新的觀測資料進到資料庫時均會接到通知，換言之作業化的資料計算或是圖形顯示均可以自動從資料庫中即時更新資料以利處理與顯示，這種資料庫具有相當高的容納性，可以容納大量各種不同格式的氣象資料。

c. 即時資料與過去時間資料的圖形顯示

ISS的軟體系統具有非常強的即時與過去時間資料繪圖與圖形顯示之功能，X-Y形式的繪圖是ISS軟體最常被用到的繪圖功能，這種圖形可以顯示地面氣象的純量資料的時間序列，向量資料的時間-高度分布，UHF剖風儀與Omega探空系統資料的Skew T-log P斜溫圖以及RASS測量虛溫的時間-高度分布圖等，時間序列之圖形顯示非常容易修改成不同的資料起始時間，時間取樣間隔以及增減圖示的氣象變數。另外值得一提的圖示特性是，不同的觀測系統所量測到的同一種氣象參數可以即時或事後在工作站直接圖示比較。例如剖風儀與Omega探空所測量到的風，RASS與Omega探空所量測到的溫度等均可以即時容易的在工作站上做圖示之比較。當然工作站的多窗區螢幕特性也允許我們比較不同觀測站的測量結果。

d. 資料儲存

所有被擷取到ISS工作站資料庫中的觀測資料均會定時自動被儲存起來，目前這種資料的儲存主要是放在可讀寫的光碟片中。可讀寫的光碟片具有高容量，可重複使用以及結構化有效率的檔案系統。因此我們可以留存高時間解析度的大量觀測資料以供應分析研究之需求。

(三)整合探空系統在TOGA COARE實驗中的觀測功能

由國科會及中央大學支援購買之ISS系統已照原定計劃於1992年8月至1993年7月正式在諾魯島($166.92^{\circ}E$, $0.54^{\circ}S$)運作，並已於1993年年底運回國內，現已在中央大學架設完畢並完成測試。在諾魯島的觀測是我國參與國際TOGA/COARE計劃很重要的一部份，國內相關人員自行負責此ISS系統在密集觀測期(1992年11月-1993年2月)之操作及資料收集，以期充分熟悉整個系統的特性及操作。

經過四個多月TOGA/COARE密集觀測以及一年多加強觀測作業的試驗，這一套整合探空系統顯示了其優越的性能，觀測進行得相當順利，除了數次當地斷電而使系統必需停機外，其餘時間此系統均維持全天候正常操作。

在諾魯島參與TOGA COARE觀測作業期間，此系統收集了相當完整的地面氣象要素觀測資料，從地面到七公里左右的剖風資料，觀測高度平均在一公里左右的RASS大氣垂直虛溫分布資料，以及每天例行的四次探空觀測資料。許多科學家對這些ISS資料均表示了極大的興趣，因為這些完整的資料可以用來分析熱帶邊界層結構、西風爆潮現象、中小尺度對流系統以及低頻振盪等問題。相信這套儀器在台灣亦可協助分析此地所具有的許多特殊天氣現象。下面特別以TOGA COARE的觀測實例介紹ISS各系統的資料特性。

1、地面氣象觀測系統

此系統由NCAR PAMII系統修改而成，主要量測的氣象要素包括風向、風速、大氣壓力、溫度、相對濕度、雨量以及紅外線和可見光的輻射強度，而由地面氣象資料收集系統(CR-10)來記錄及儲存資料。此系統可全天候連續記錄上述各種地面氣象要素資料，並傳送至資料處理系統。而資料處理系統會將此資料轉換成標準的NetCDF格式，以利儲存及傳輸。資料時間間

隔一分鐘，資料檔中包含觀測時間、測站經緯度及高度、氣壓、風向、風速、溫度、相對濕度、露點溫度、降水、輻射及電池狀態等。

圖2即是將諾魯ISS測站1992年12月1日所測得的資料繪製而成，為一西風爆潮的個案。圖中顯示了風、溫度、氣壓、相對濕度及降水隨時間的變化。圖中風標的時間間隔為十分鐘以利辨識。由圖可看出此系統充分掌握各氣象要素隨時間極微小的變化。由連續數天的圖中可看到降水時相對濕度及溫度均有極大的變化，但氣壓的擾動並不明顯。此外也明顯看出風向隨時間的戲劇性改變及降水前後的顯著改變。所以此系統對天氣系統的描繪是有很大的幫助。

2、OMEGA探空系統

此系統利用VAISALA RS80-15N探空儀及OMEGA航行定位系統來測量大氣中各項氣象要素的垂直分布。其中在資料的開始記錄有資料的形式、觀測點的經緯度及高度、開始觀測的時間、所用觀測儀器的名稱及觀測者對觀測結果的附註。記錄的觀測項目包括探空氣球釋放後的時間(Time)、大氣壓力(Press)、溫度(Temp)、露點溫度(Dewpt)、相對濕度(RH)、風的東西分量(Uwind)及南北分量(Vwind)、風速(Wspd)、風向(Dir)、氣球上升速度(dZ)、氣球位置的經緯度(Lon, Lat)、氣球離觀測站的位置(Rng)及方位角(Ang)、氣球的高度(Alt)以及一些校正用的參數(Q_p , Q_t , Q_h , Q_u , Q_v , Q_{uv})。每筆記錄時間間隔為十秒鐘，且第一筆資料(時間顯示為負值)是記錄氣球釋放前由地面觀測系統所觀測到的地面氣象要素資料。除了此種資料格式之外，ISS的資料處理系統亦將此種資料轉換成標準的NetCDF格式，以利儲存及傳輸。在諾魯時觀測間隔設定為六小時，但由於觀測一次約需二小時，所以此系統一天最密集可觀測十二次，如此可增加掌握大氣現象的能力。

根據記錄的資料格式可繪製成氣象上常用的斜溫圖，見圖3，顯示溫度、露點溫度及風場的高解析度垂直分布，對了解大氣的穩定度及垂直風切有很大的幫助，對邊界層的研究亦有相當的助益。而由於其觀測高度平均可延伸至70hPa(約18.6公里)，甚至可達到20-30hPa，顯示此系統對了解高對流層至平流層的大氣亦有幫助。再進一步將觀測資料推導以位溫、相當位溫及飽和相當位溫的型式繪圖，見圖4。這是TOGA COARE期間最明顯的西風爆潮個案，諾魯ISS探空顯示西風爆潮從地面開始發展，而且隨時間由低層往上層延伸，12月19日整層都是東風，但是到了27日西風已成長到250mb之高度。圖4各種位溫的分佈也指出水汽和大氣穩定度的變化。但我們也發現此探空系統的地面觀測值與地面氣象觀測系統的觀測值有差距，是需繼續探討解決的部分。

3、915 MHz 剖風儀(Profiler)

此系統是利用陣列天線發射電磁波來量測大氣風場垂直分布情形。此系統全天候觀測，可連續記錄水平風隨高度變化的情形。有兩種垂直解析度：高度解析度每98公尺有一觀測值，但所觀測的高度達五公里高；低解析度資料每隔238公尺有一觀測值，但觀測的高度可超過十公里。觀測資料平均及記錄的時間間隔是可隨任務需求而做適當調整的，在諾魯觀測期間此系統設定為每三十分鐘記錄一次，故一天有48次資料。在資料的記錄開始有觀測的日期及時間、觀測

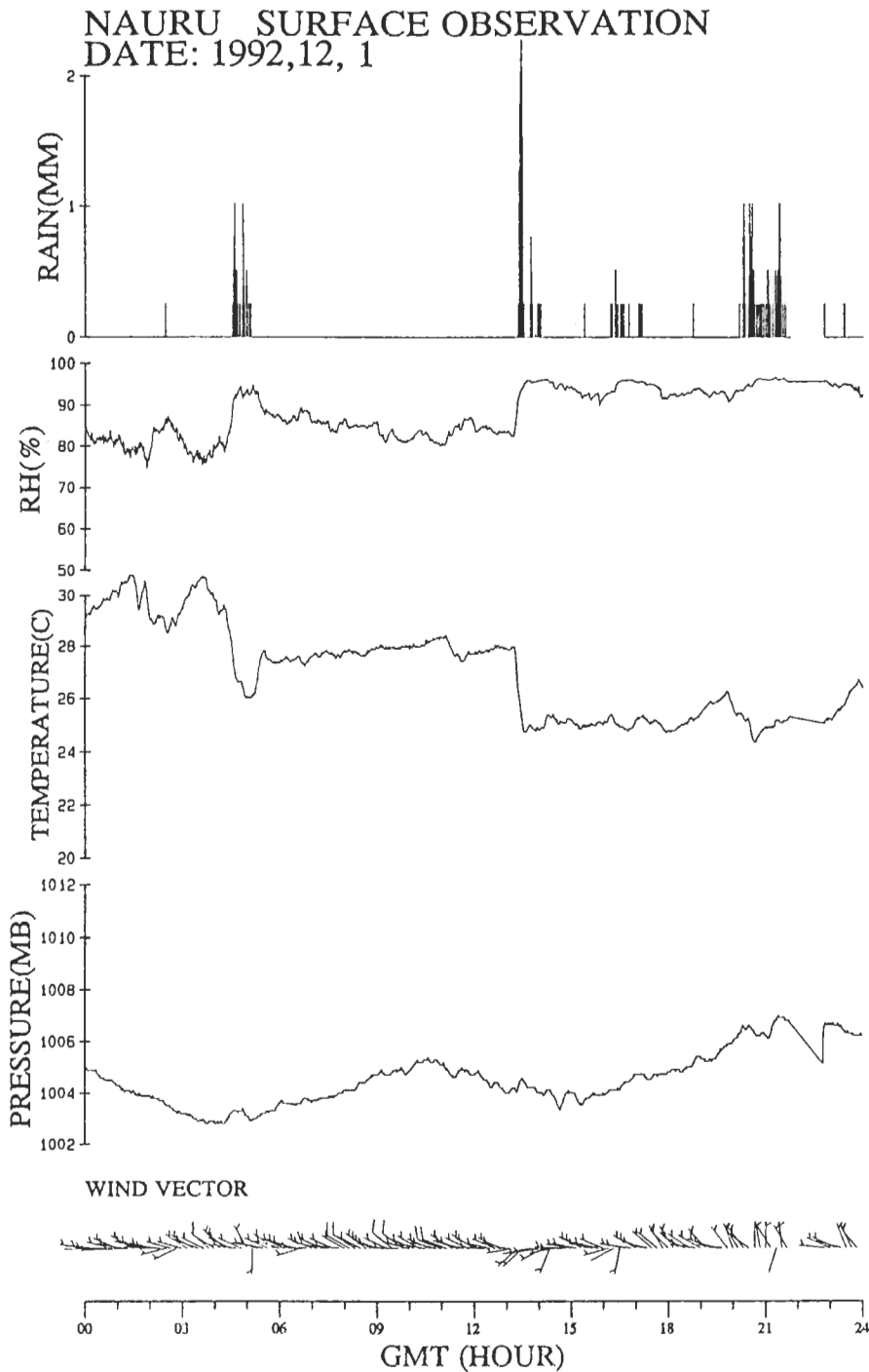
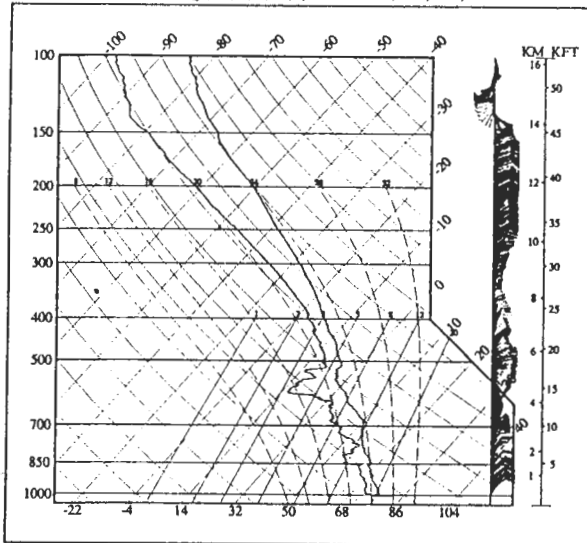


圖2 1992年12月1日諾魯ISS地面觀測資料隨時間變化圖。

點的經緯度及高度、兩筆資料的高度相隔 (DELTA)、第一筆資料的高度 (FIRST)、資料的種類 (N FIELDS) 及缺失資料的代碼 (BAD FIELD)。記錄的氣象參數有高度、風速與風向。此外也記錄有系統的訊號參數 (snarl1, snarl2, snarw)。除了此種資料格式之外, ISS的資料處理系統亦將此資料轉換成標準的NetCDF格式, 以利儲存及傳輸。

CLASS 10 SECOND DATA TOGA/COARE: NAURU

GMT Launch Time (y,m,d,h,m,s): 1992, 12, 19, 23:00:04



CLASS 10 SECOND DATA TOGA/COARE: NAURU

GMT Launch Time (y,m,d,h,m,s): 1992, 12, 27, 11:00:02

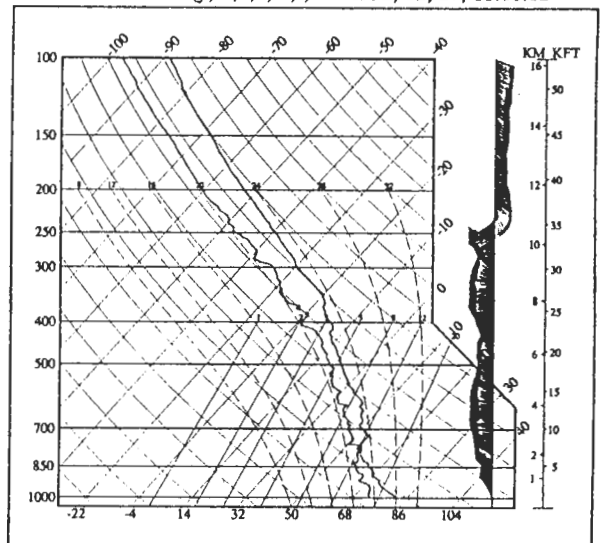
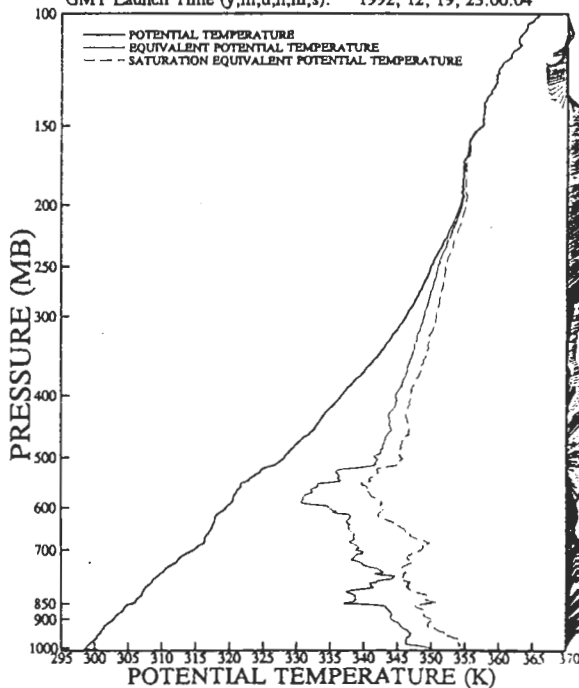


圖3 1992年12月19日2300 UTC以及12月27日諾魯站1100 UTC由ISS OMEGA探空系統資料所繪製的斜溫圖。

CLASS 10 SECOND DATA

TOGA/COARE: NAURU

GMT Launch Time (y,m,d,h,m,s): 1992, 12, 19, 23:00:04



CLASS 10 SECOND DATA

TOGA/COARE: NAURU

GMT Launch Time (y,m,d,h,m,s): 1992, 12, 27, 11:00:02

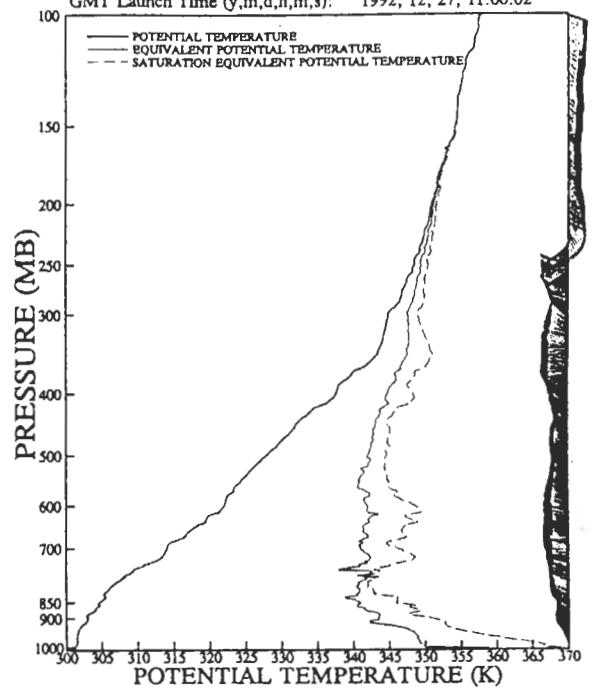


圖4 1992年12月19日2300 UTC以及12月27日1100 UTC由ISS OMEGA探空系統資料推導所繪製的位溫、相當位溫及飽和相當位溫隨高度變化圖，圖右側並繪有風標。

將一天四十八次的資料作圖，是圖5及圖6。雖然此兩種資料在垂直解析度及觀測高度上均不及OMEGA探空系統，但在時間的連續上有著相當好的優勢，顯示出邊界層風場的特性。圖5及圖6清楚顯示赤道盛行東風與西風爆潮由低層往上層成長的情形。

4、無線電聲波探空系統 (RASS)

此系統是利用陣列天線配合聲波雷達來量測低層大氣虛溫的垂直分布，由於使用頻率的關係，最高只能觀測到1500公尺左右。此系統亦為全天候觀測，觀測資料的平均及記錄時間間隔亦是可隨任務需求而作適當調整的，在諾魯觀測期間此系統設定為每三十分鐘記錄一次，故一天亦有48筆的記錄。在資料開始記錄有觀測的日期及時間、觀測點的經緯度及高度、兩筆資料的高度間隔、第一筆資料的高度、資料的種類及缺失資料代碼，此部分與Profiler系統的資料格式相同。但本系統記錄的氣象參數為高度及虛溫 (T_v)。兩筆資料的高度間隔為60公尺，最高可達約1500公尺。除了此種資料格式外，ISS的資料處理系統亦將此種資料轉換成標準的NetCDF格式，以利儲存及傳輸。

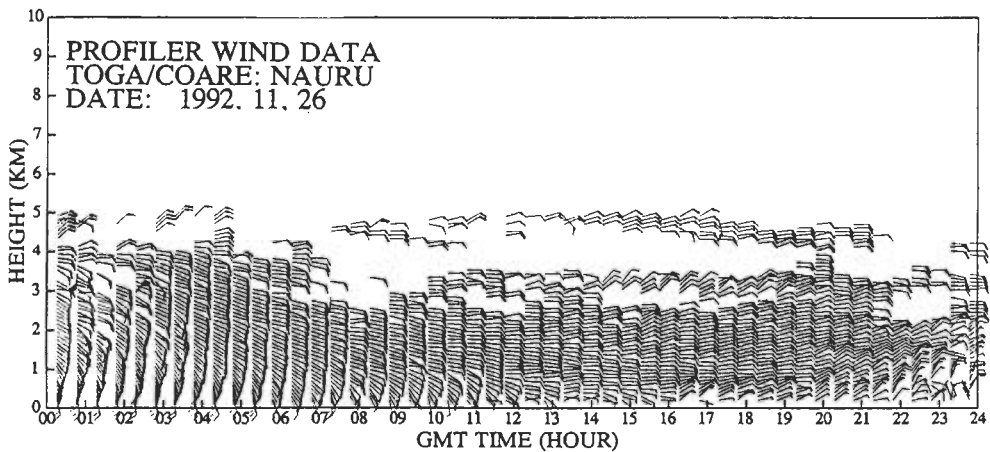


圖5 1992年11月26日諾魯站ISS剖風儀系統高解析度水平風資料隨時間變化圖。諾魯站地方時為標準時加上12小時。

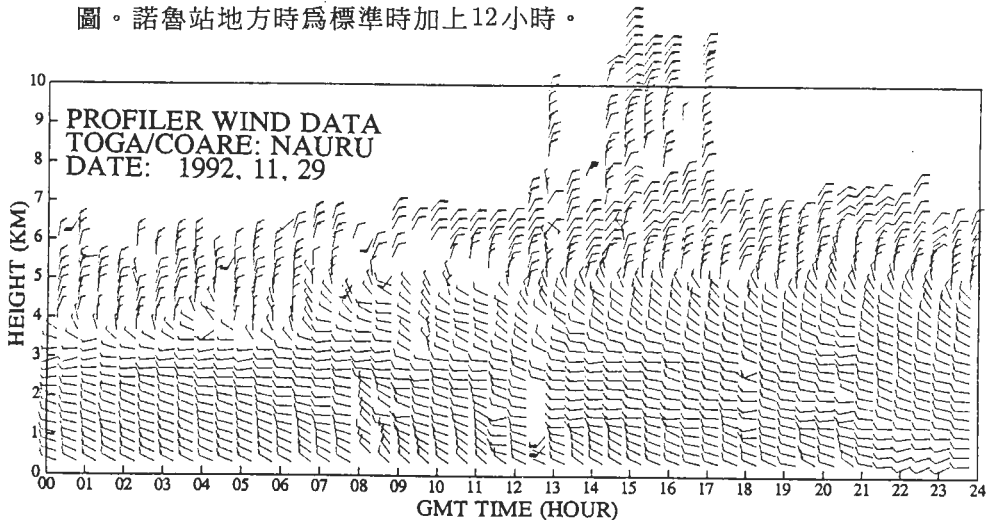


圖6 1992年11月29日諾魯站ISS剖風儀系統高解析度資料隨時間變化圖。

圖7是利用此資料推導出的虛位溫隨高度變化情形，由圖中可充分了解大氣邊界層穩定度日變化的特性。雖然資料解析度仍不能與OMEGA探空系統相比，但時間的連續性仍為此系統的最大優點。由於聲波之傳播嚴重的受到降水的影響，因此RASS系統在降水發生期間會完全失效。

由於有OMEGA系統的資料，我們也做了一些比較，將二種資料的虛位溫彼此比較，見圖8。基本上兩種觀測儀器的測量結果有很好的的一致性，但是RASS的測量在100公尺到300公尺之間似有稍為低估之現象，此現象在其他ISS站中亦有發現，除證明我們系統是正常運作外，也提供日後觀測的參考。

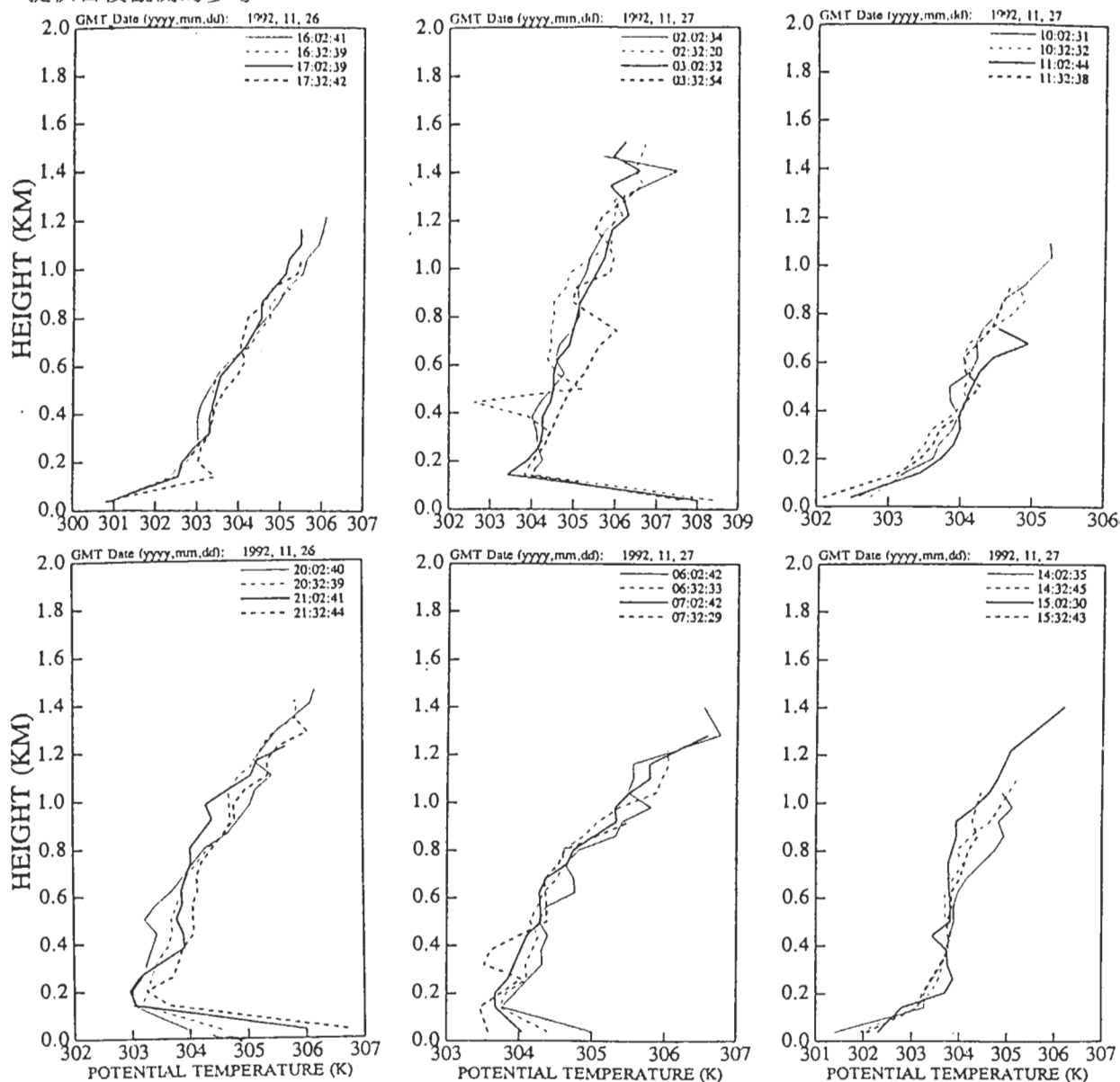


圖7 1992年11月26日，27日諾魯站由ISS RASS系統虛溫資料推導出的虛位溫隨高度的日變化圖。

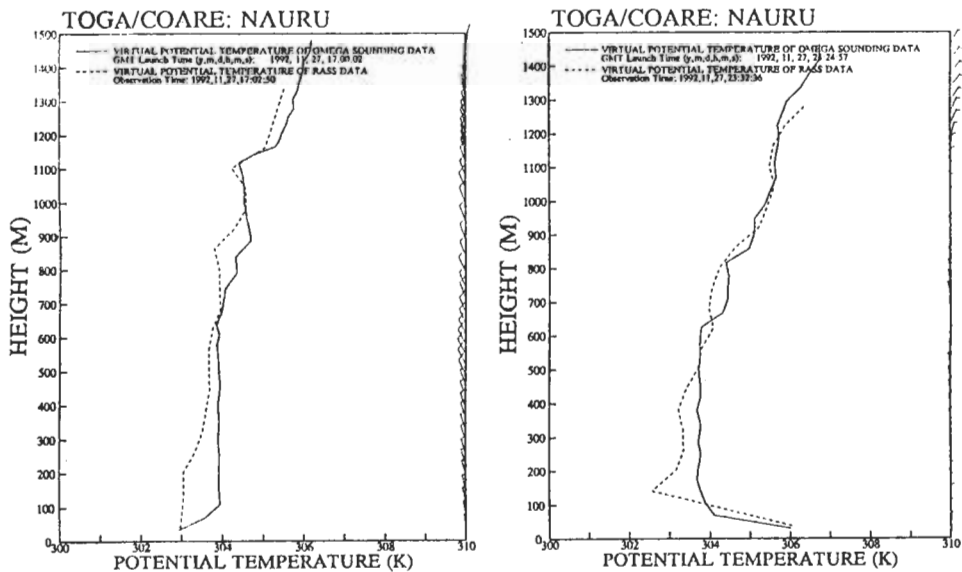


圖8 1992年11月27日諾魯站由ISS Omega探空系統及RASS系統資料所推導出的虛位溫比較圖。

(四) 整合探空系統在台灣地區的觀測研究

台灣四面環海，境內地形複雜，地形會對盛行風產生阻擋的作用且可提供冷熱源。此外由於海、陸以及平地、山坡的熱力特性不同會引發海陸風、山谷風等局部環流，這些局部環流對大氣邊界層的發展，中尺度大氣系統的演化以及污染物的輸送等，都是台灣大氣科學研究必需考慮的主要問題。而觀測分析與模式模擬結果的彼此驗證，乃了解這些問題的基本研究方法。

目前國內觀測儀器不論量與質都有長足的進步，例如資源衛星接收站(中大遙測中心)，VHF特高頻雷達(國科會中壢貴重儀器中心)，聲波雷達(台大，中大)，移動式探空車(氣象局)，繫留氣球探空系統(台大，中大，中興，高公局)邊界層鐵塔(中大，台電等)定點探空站(氣象局，空軍，海軍)等，而整合探空系統在圓滿的參與國際熱帶海洋/全球大氣耦合反應觀測實驗(TOGA COARE)的諾魯觀測作業之後，目前已運回國內，並且安裝在國立中央大學的觀測園內，並且順利的連續作業之中。由於此套系統包括探空，地面，以及邊界層風，虛溫的測量，可以提供定點上從地面，邊界層到高空各種氣象要素的分布，無論對即時天氣之分析與預報或對大氣科學的相關研究工作均會有相當大的助益。目前國科會大氣科學學門所規劃的重點研究，如豪雨研究，局部環流研究，颱風研究以及高層大氣研究相關之研究群均對使用此套系統於未來的觀測實驗或對此套系統連續長時間的資料分析，表示濃厚的興趣。台灣局部環流研究群獲國科會支持已於今年五、六月以及未來預定的一系列的觀測實驗已將ISS納入重要觀測儀器之一。台灣熱帶海洋-全球大氣研究發展的後續研究，東亞季風研究以及東亞地區短期氣候變化研究也將持續利用此套儀器長期的觀測資料與TOGA COARE國際實驗後幾個熱帶長期測站的觀測資料進行比較分析研究。氣象局則對即時獲得此套系統觀測資料於即時天氣之分析與預報有濃厚的興趣。因此可能之使用者將包括國內大氣科學相關學術界及作業單位。

在參與1994年臺灣局部環流先驅實驗中，ISS除了顯示觀測局部風系發展與邊界層演化的良

好性能之外，對於鋒面結構的解析也顯示出極佳的能力。圖9為ISS剖風雷達觀測之梅雨期晴朗天氣西南季風盛行的情況，由於盛行風太強，局部環流沒有發展出來，但是圖中明顯顯示2公里以下強烈低層噴流存在之事實。圖中也清楚顯示高解析資料與低解析資料有很好的的一致性，低解析資料的觀測高度可以達到七公里以上。局部環流實驗期間，最後一道梅雨鋒面於1994年

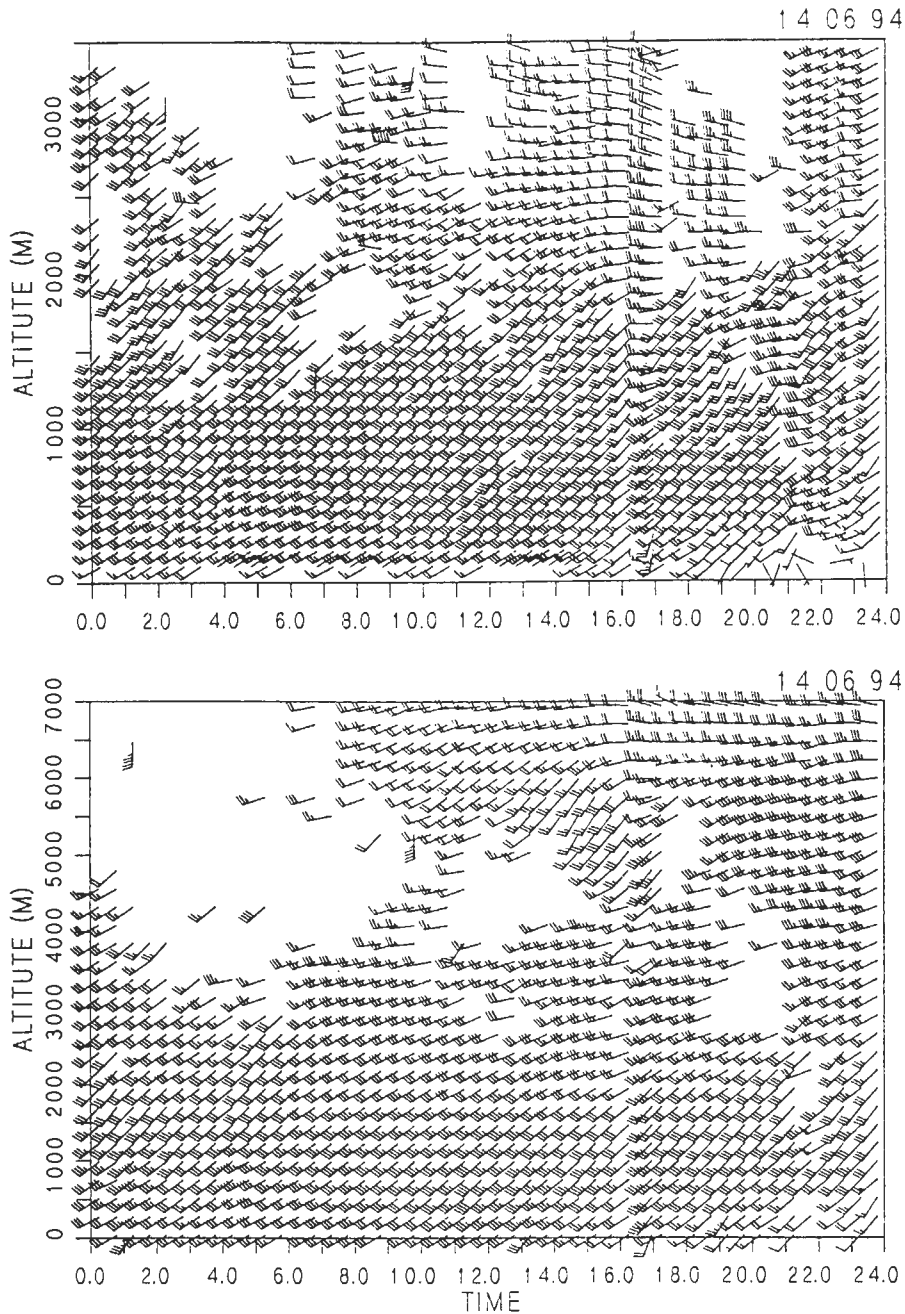


圖9 1994年6月14日中壢站由ISS剖風儀系統所測得中壢上空水平風隨時間變化圖，上圖為高解析度資料，下圖為低解析度資料，時間軸為GMT時間。

6月18日通過實驗地區，圖10為1994年6月18日ISS剖風雷達所觀測到的鋒面通過時，中大上空水平風隨時間之變化。由圖中可以明顯看出鋒面通過時風結構變化之特性。鋒面通過前以西風或西南西風為主，鋒面通過後，低層風向由西風漸次轉為西北風、北風、東北風、及東風或東南風，但鋒面之上仍維持為西風或西南風，圖中6點至10點(GMT)發生在兩公里到四公里左右的強烈東北風係強烈降水干擾所產生之雜訊，必須去除(圖中虛線標示的區域)。因此強降水

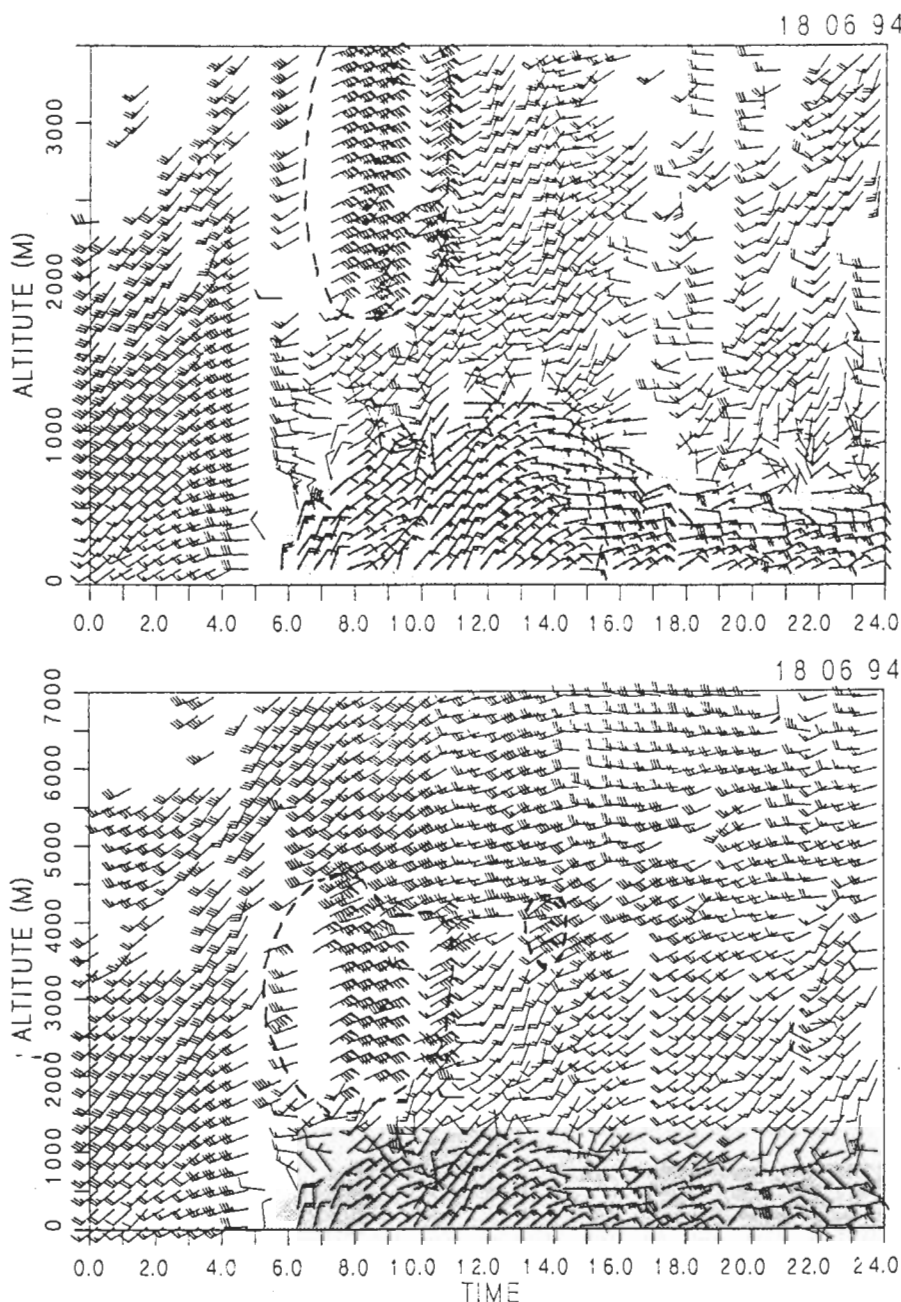


圖10 1994年6月18日中壢站由ISS剖風儀系統所測得中壢上空水平風隨時間變化圖，上圖為高解析度資料，下圖為低解析度資料，時間軸為GMT時間。虛線標出受到強降水影響的錯析風區域。

時資料的品質控制必須特別小心。圖 11 為 1994 年 6 月 22 日 ISS 剖風雷達所觀測到中大上空局地風場變化之特性，圖中明顯指出局部環流演化過程風的細微結構，02 至 09 (即局地時間 10 點到下午 5 點左右) 西北海風發展之情況，海風厚度最厚也只有 600-700 公尺而已。日落之後西南風轉強，陸風不明顯。

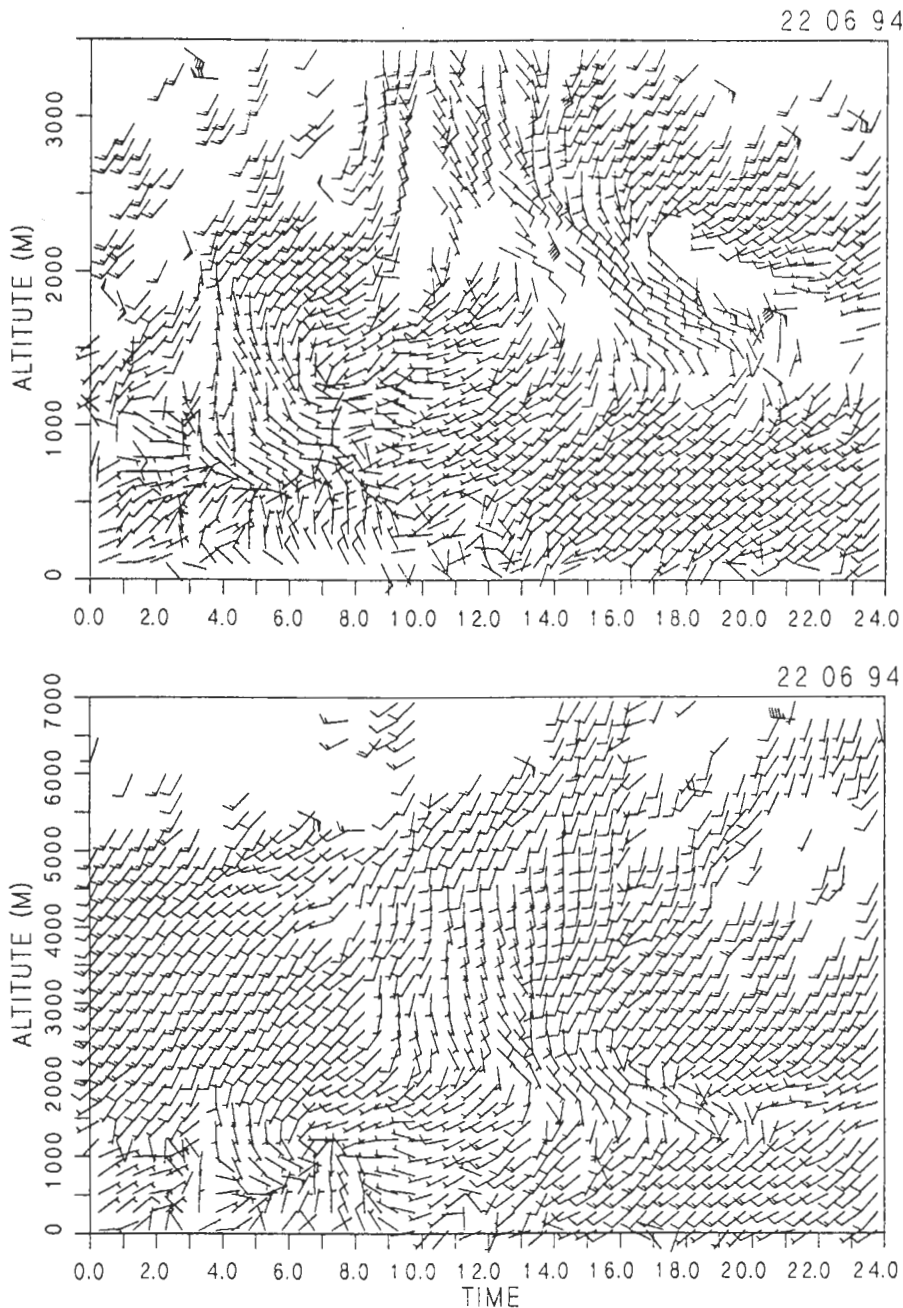


圖 11 1994 年 6 月 22 日中壢站由 ISS 剖風儀系統所測得中壢上空水平風隨時間變化圖，上圖為高解析度資料，下圖為低解析度資料，時間軸為 GMT 時間。

對臺灣而言1994年夏季是一個極奇異的颱風季，從七月九日中央氣象局發布第一個海上和陸上颱風警報開始，到九月九日止共發佈了五個颱風警報，依序為提姆、凱特琳、道格、弗雷特和葛拉絲，在這五個颱風影響臺灣地區時，ISS的地面站以及剖風雷達除了停電之外均做連續之觀測。這些資料對颱風環流特性之了解將有很大之幫助，圖12為ISS剖風雷達在1994年8月21日正當弗雷特颱風掃過臺灣東北部時觀測到之風場結構，圖中明白顯示強風帶，上下層不

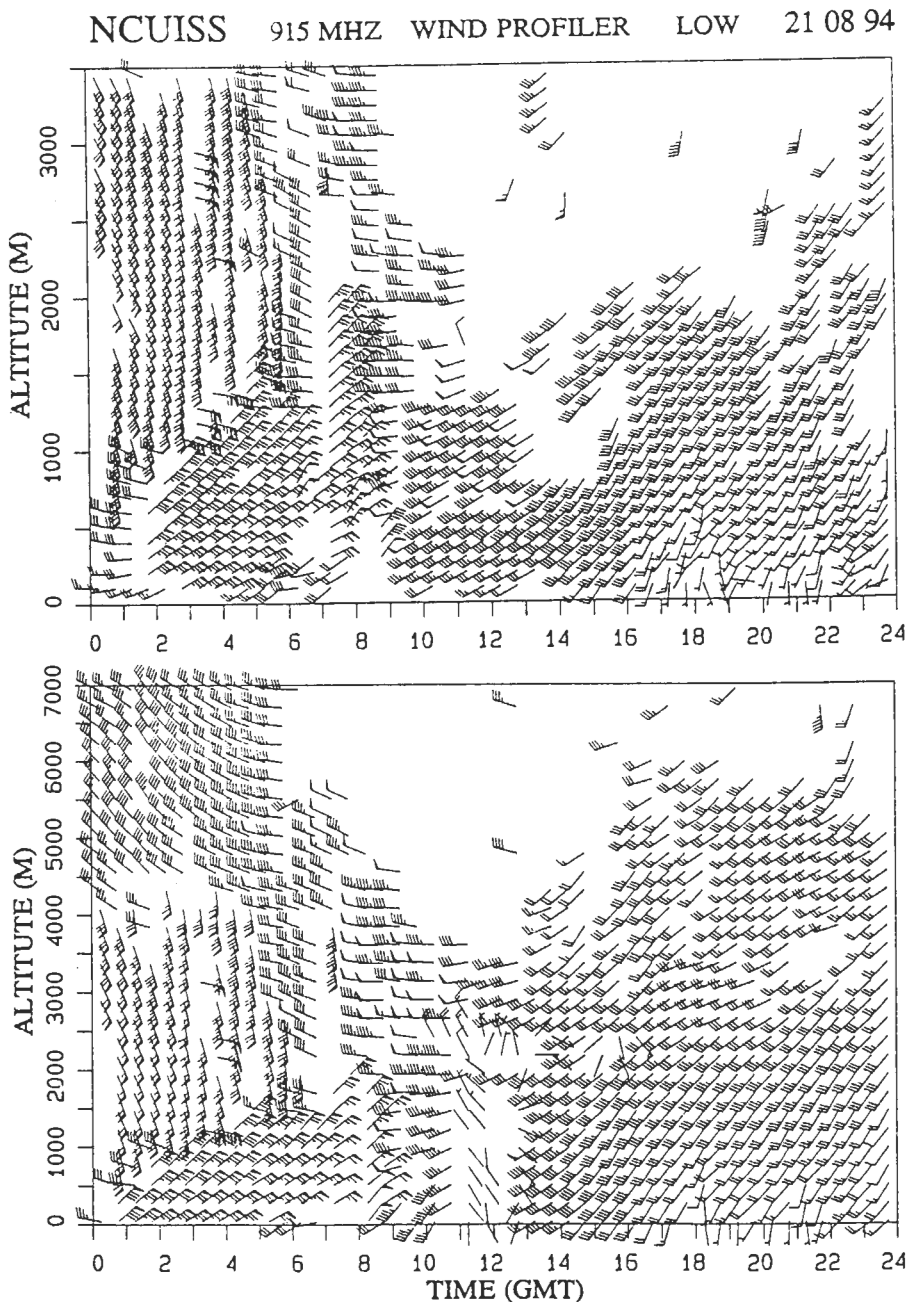


圖12 1994年8月21日中壢站由ISS剖風儀系統所測得中壢上空水平風隨時間變化圖，上圖為高解析度資料，下圖為低解析度資料，時間軸為GMT時間。

同氣流走向之特性，圖13則為ISS的地面站於1994年9月1日葛拉絲颱風通過臺灣時所測到的氣壓變化以及逐分的降水強度記錄，圖中清楚顯示颱風中心低氣壓之特性。圖14則為同一段時間颱風經過前後局地風垂直分佈變化之特性。

除了對局部環流，鋒面以及颱風之研究，ISS可以提供極佳之觀測資料外，對於陣風鋒面，大氣波動(或潮汐)等擾動，ISS也有很好之解析能力，如圖15所示，由1994年9月14-9月17日的氣壓變動記錄，非常清楚的顯示了氣壓變動除了受天氣系統之影響外，也受大氣潮汐波之影響，尤其半日潮之波動特別清楚，振幅大約在2-3mb之間。

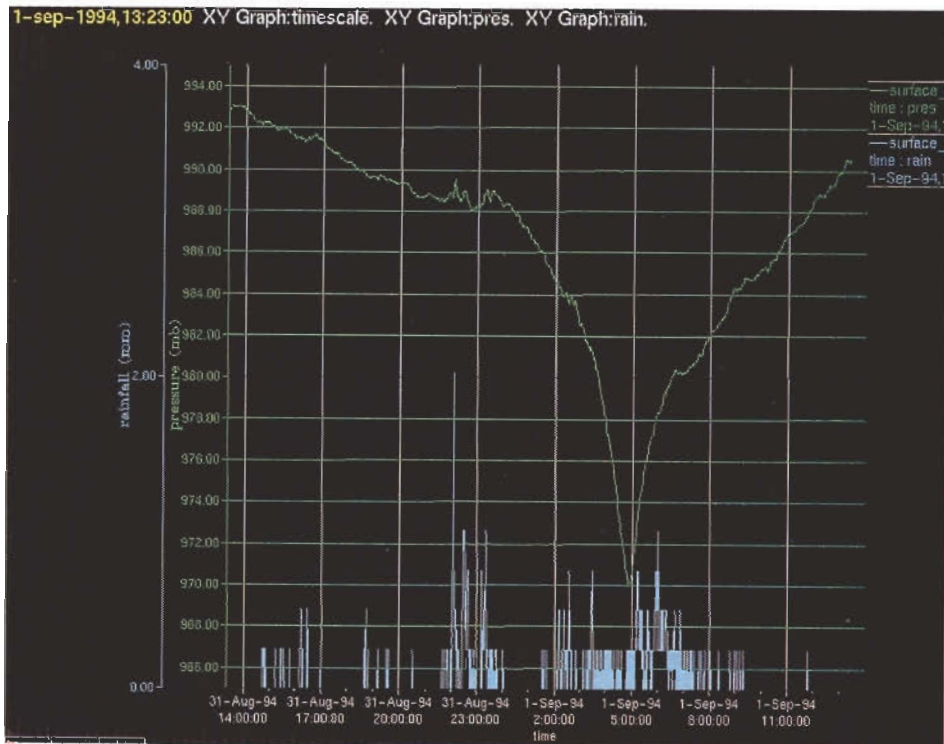


圖13 1994年8月31日-9月1日中壢ISS精密改良型地面站在颱風經過台灣時所測得中大氣候站地面氣壓與逐分降水強度之變化。

(五) 未來展望

中尺度大氣各種物理過程的觀測研究經常需要良好時間和空間解析度的風場、溫度場以及水汽場的觀測資料，以往不論是作業用或是研究用，沒有任何一種觀測系統可以經常例行的提供這些測量資料。爲了克服各種單一測量儀器各別的測量限制，整合發揮各種不同的現場測量和遙感探測儀器之優點，科學家與工程師合力設計發展了新式整合探空系統 (ISS - Integrated Sounding System)。

整合探空系統結合了現場測量與遙感探測儀器之特性整合成一套單一可移動的觀測系統，此系統包括915MHz剖面風儀，聲波探空系統 (RASS)，OMEGA訊號航行定位氣球探空系統以及

一組強化精確的地面觀測站。ISS的各個子系統測量高品質的觀測資料之後由中央資料處理工作站負責資料之整合處理與圖形分析。ISS軟體系統提供寬廣的應用功能，從資料收集、傳遞、即時分析或回顧處理到圖形顯示。本文除了介紹整合探空系統之特性外，也以此系統在國際熱帶海洋/全球大氣計劃 (TOGA) 推動之海洋/大氣耦合反應國際觀測實驗 (COARE) 以及在台灣的觀測實例以說明這種新型的探空系統對西風爆潮、邊界層結構、局部環流、颱風以及各種中尺度的波動等現象的觀測能力以及在大氣科學研究上之應用。

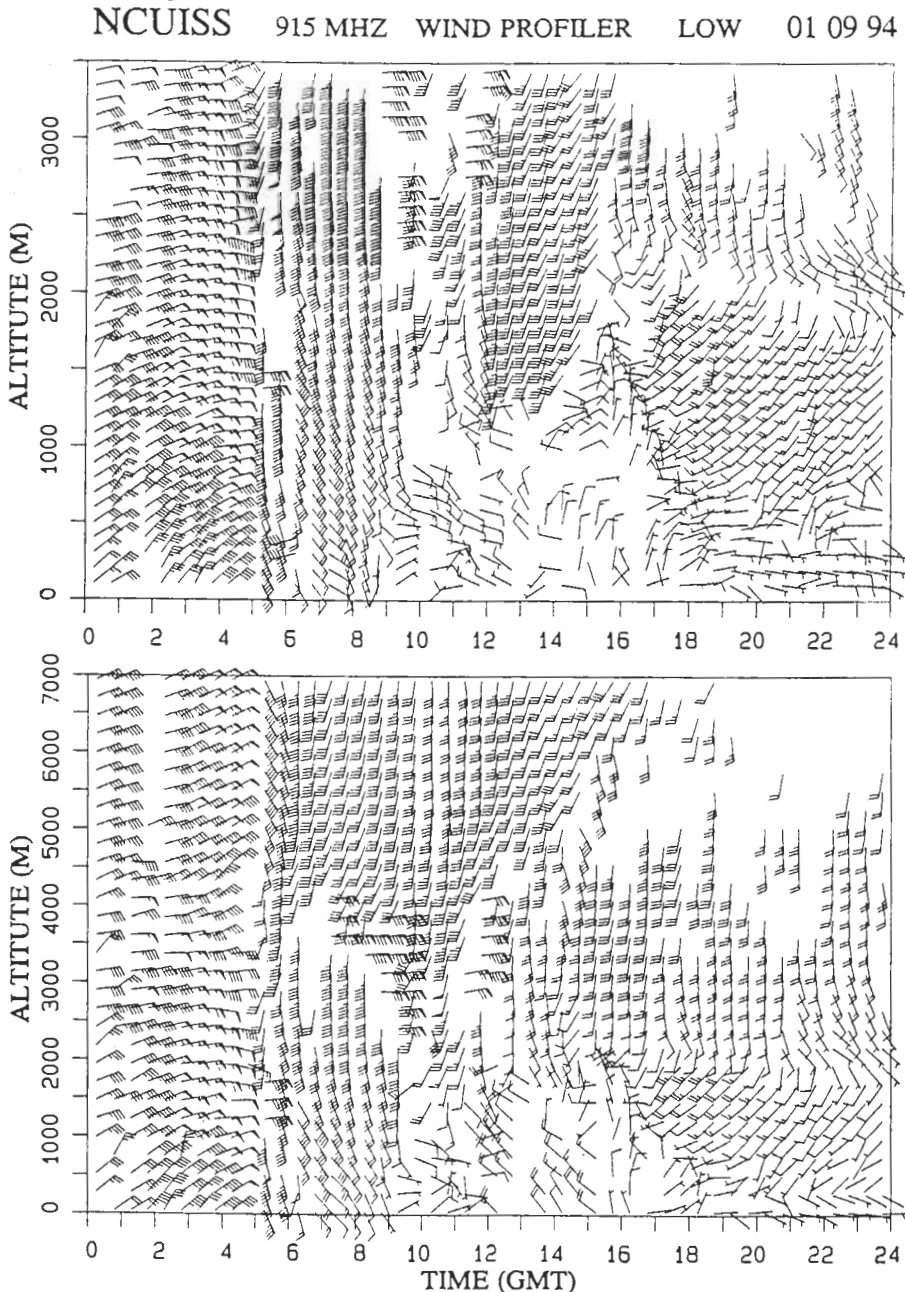


圖 14 1994 年 9 月 1 日中壢站由 ISS 剖風儀系統所測得中壢上空水平風隨時間變化圖，上圖為高解析度資料，下圖為低解析度資料，時間軸為 GMT 時間。

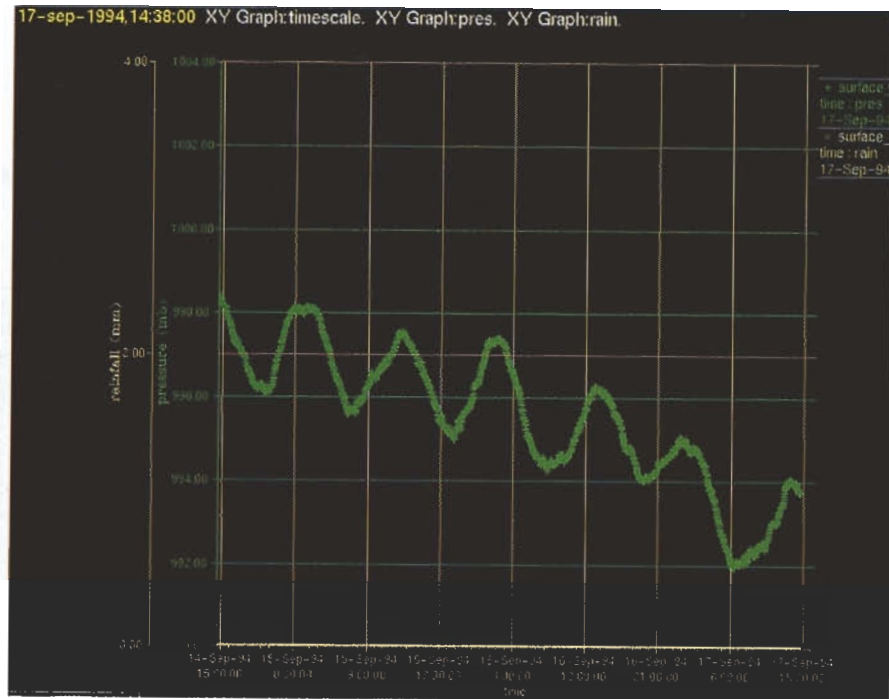


圖15 ISS精密改良型地面站所測明顯半日潮之氣壓變動，時間為1994年9月14日-9月17日。

目前整合探空系統已納入國科會中壢貴儀中心負責維護管理，可接受各界研究計劃使用之申請，平時在中大校園內地面系統，UHF 剖風雷達，無線電聲波探空系統(RASS)將進行長期連續之觀測作業，可提供連續之觀測資料給相關作業單位或學術單位進行即時天氣分析預報或相關研究之用，Omega探空則應使用觀測計劃之要求或配合實驗計劃進行觀測作業。當然如何結合對觀測分析有興趣的研究人員與技術人員，經由野外實驗的儀器架設、系統維護與資料之接收與處理以增進國內科技人員對儀器軟硬體結構之了解與資料品質控制之經驗，也是必須特別考量的重點。

三、氣象雷達在台灣地區的發展與應用

(一)、氣象雷達在台灣地區之近況

花蓮與高雄雷達站分別於民國55年及59年設立，多年來以回波資料的顯示及分析，對颱風之路徑追蹤發揮極大功效，但是北部地區為其觀測所不能及之死角；並且傳統式雷達僅有回波而無風場之資訊。76年台灣地區中尺度實驗（TAMEX）期間，民航局首先在中正機場裝置了一部C-band都普勒雷達，該實驗期中並有國外NCAR之CP-4及NOAA之TOGA兩部C-band都普勒雷達參與觀測。在台灣西北至中部排列成一多都普勒雷達網，為TAMEX提供了寶貴的梅雨季節降水系統之資料。多組風場、回波場被詳細分析，許多重要降水結構得以解析。這一年是台灣氣象雷達發展之轉捩點。很快地79年清泉崗空軍基地也換成了都普勒氣象雷達，協助機

場之飛航安全。這兩部C-band雷達在過去數年的連續觀測下對於西北海域，中部海域北部地區及中部山區之各季節降水系統，已有相當之了解，圖16即為中正雷達在1993年6月5日觀測之回波及風場圖，其鋒面雨帶清晰可見。

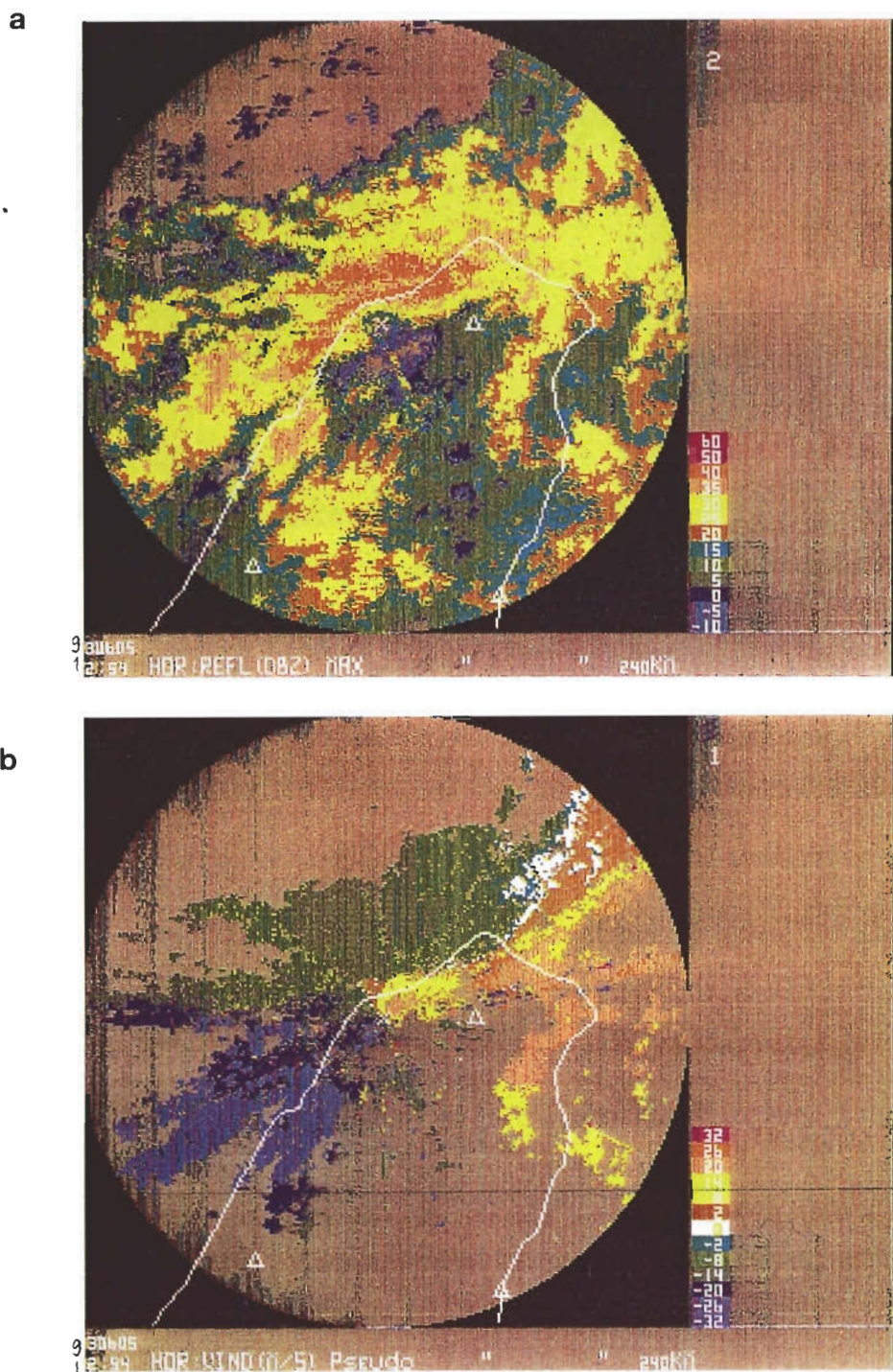


圖 16 民航局中正機場都普勒雷達在1993年6月5日所觀測圖 (a) 為回波；圖 (b) 為徑向風場。

氣象局自76年以來也開始進行大規模新一代雷達網連的計畫，預計將由北至南一共裝設4部新一代雷達（NEXRAD）。並將所有資訊網連起來，希望在公元2000年時全部完成。屆時將對氣象界提供大量準確精密之雷達回波及風場資料之應用產品。在下節中將介紹其功能及應用，並將簡單介紹網連之架構。但國內網連完成時，除了北部以外基本上是一單都普勒雷達網，也就是每兩部之間距離過遠而無法做雙都普勒觀測。因此最近新發展的副靜式（bi-static）網連的方式，可以突破這個限制。文中也將介紹此類新型儀器。

國內這幾年在雷達氣象分析方法的發展，及所觀測到現象的研究，自從76年大量雷達資料的收集，確實有助於中尺度降水現象的解析，與國外觀測的現象比較也有異同，雖僅僅是一個起步，但值得繼續推廣深入。

（二）、新型雷達在作業及研究之應用現況

自從1987年中正機場加裝氣象用都普勒雷達以後，運轉一直十分順利。民航局氣象中心的成員亦十分積極的觀測台灣北部之各種天氣降水系統，並發展顯示用之軟體。在93年並再度更新軟硬體，將最細之解析度的1000公尺提高至250公尺，與未來氣象局之NEXRAD水平解析度可以匹配。中正機場所在地與未來五份山NEXRAD站址，相距約50km，因此如能順利網連則可發展即時雙都普勒風場反求。預估至少可以每半小時提供一次三維風場，這種資料對即時預報會大有助益。另外此座雷達並擔負機場飛航安全重任，如何監測一些飛航安全的參數如強風切預警，應是未來發展值得努力的方向。

清泉崗C-band都普勒雷達和中正機場的功能及需求大致相近，唯所處地點十分有利於中部及嘉南地區之豪雨系統的觀測，如圖17，於1991年梅雨季節之豪雨個案。此外西部山區及平原的雷雨也是這個雷達觀測時的主要目標。此雷達對海峽有最好的觀測，對春末夏初之颱風系統很容易測到，其水平解析度最細可至875公尺，而對於地面回波之去除是採取都普勒波譜截斷法，可由作業人員自地面回波之波譜特性來取決，所以地面回波雜訊的處理比較有彈性。總體來說此部雷達是中部唯一的一部都普勒雷達，對軍方許多機場負有責任，在未來應會有更大之發展。

NEXRAD雷達基本上分成三個系統，第一個部份稱作RAD（Radar Data Acquisition），也就是雷達軟硬體本身，包括了都普勒雷達發射、接收及將信號轉成數位信號之功能。第二個部份稱為RPG（Radar Product Generation）在RPG基本的資料場經過多種方法之估算，計算出產品。第三個部份稱作PUP（Principal User Product）在這一個層次資料已依需求轉化成多種不同尺寸及不同精密度之多參數產品，圖18。根據NIDS（NEXRAD Information Dissemination Service）之報導至少已開發了39種以上的產品（Klazura and Iray, 1993），除了標準之回波與都普勒徑向風場，波譜寬場外，還有如徑向（radial）及同向（Azimuthal）風切，雨量估計，風場風向顯示（VAD），垂直液態水含量等，比較特殊的如嚴重風暴機率這種綜合數種資料產生之產品。但明顯看得出來NIDS仍以美國的天氣為產品發展之方向，並不全然適合台灣的天氣情況，固然有許多可以使用，但針對台灣本身的問題，必須自行開發。如豪雨機率必須以本地條件來調整。

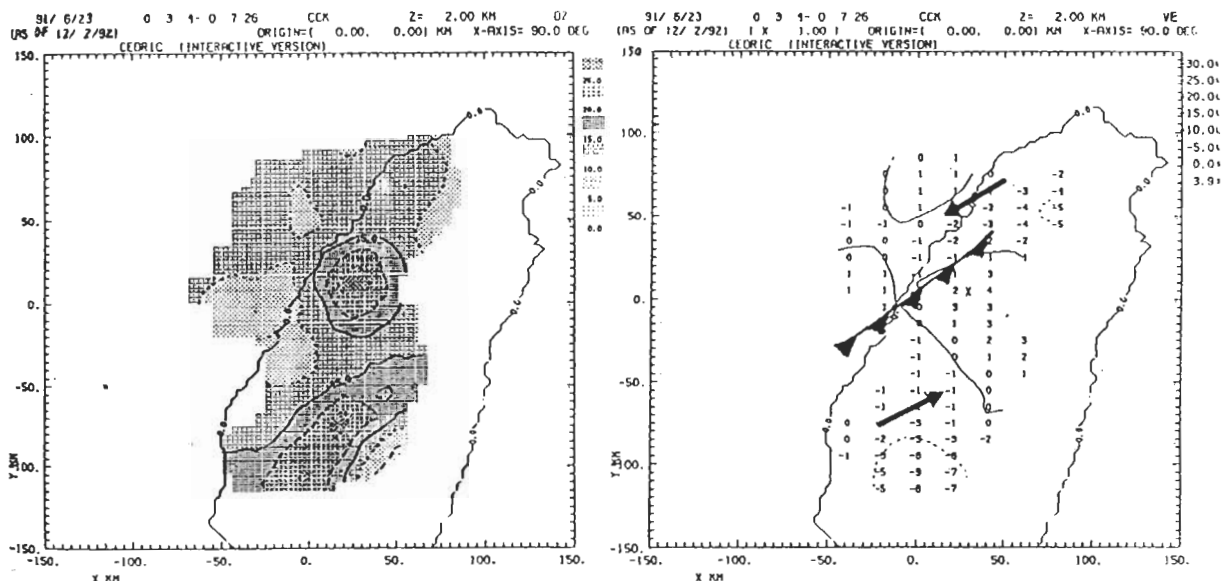


圖 17 空軍清泉崗都普勒雷達在80年6月23日觀測到的回波及風場，其中暗色區為25dBZ以上之區域。

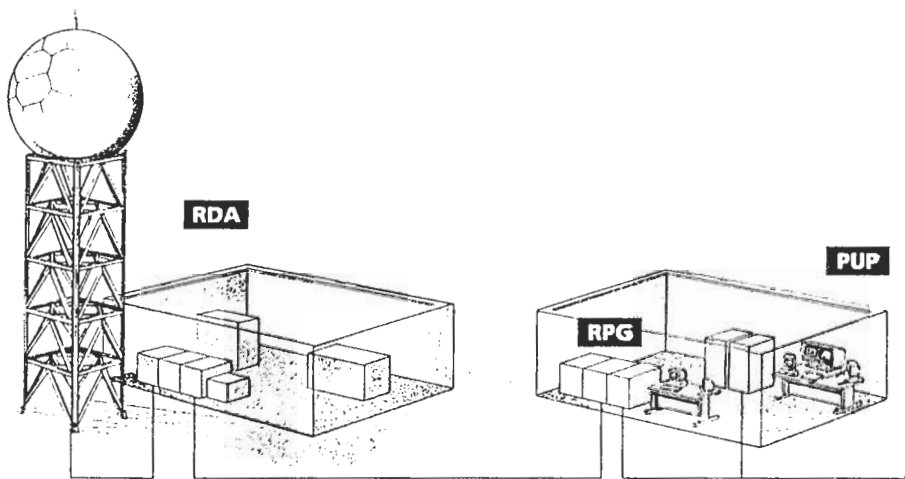


圖 18 NEXRAD 雷達分成三個單位，每一單位資料之內容。RAD 為以雷達主機資料為基礎之回波，風場及波譜寬。RPG 為產生基本產品之處理方法及計算。如雲頂高、雷雨路徑等。PUP 產品送出及展示。

至1993年止在美國本土已有30部左右之RAD，100部左右之PUP在線上作業，已有許多的經驗讓氣象界了解新一代雷達之功能。明顯可見的是對地區預報有大幅度的改善。高敏感度、高解析度的資料可以追蹤海陸風，陣風鋒面，溼或乾的冷鋒面，當然還包括各種對流和降水，尤其小至 0.95° 之方位角解析度可以提供一個都市內細部地區的情形。除了氣象事件外如大規模之煙塵或森林火災亦可測到。

92年Andrew颱風，NEXRAD對其路徑及結構的偵測有良好之表現，93年美國中西部大水災NEXRAD亦可精確看出降水發生之地點及強度。圖19即是水災中一颱風系統之回波及都普勒徑向風場圖。92年的龍捲風暴發個案中在許多作業單位都證實了擁有都普勒雷達能力之NEXRAD

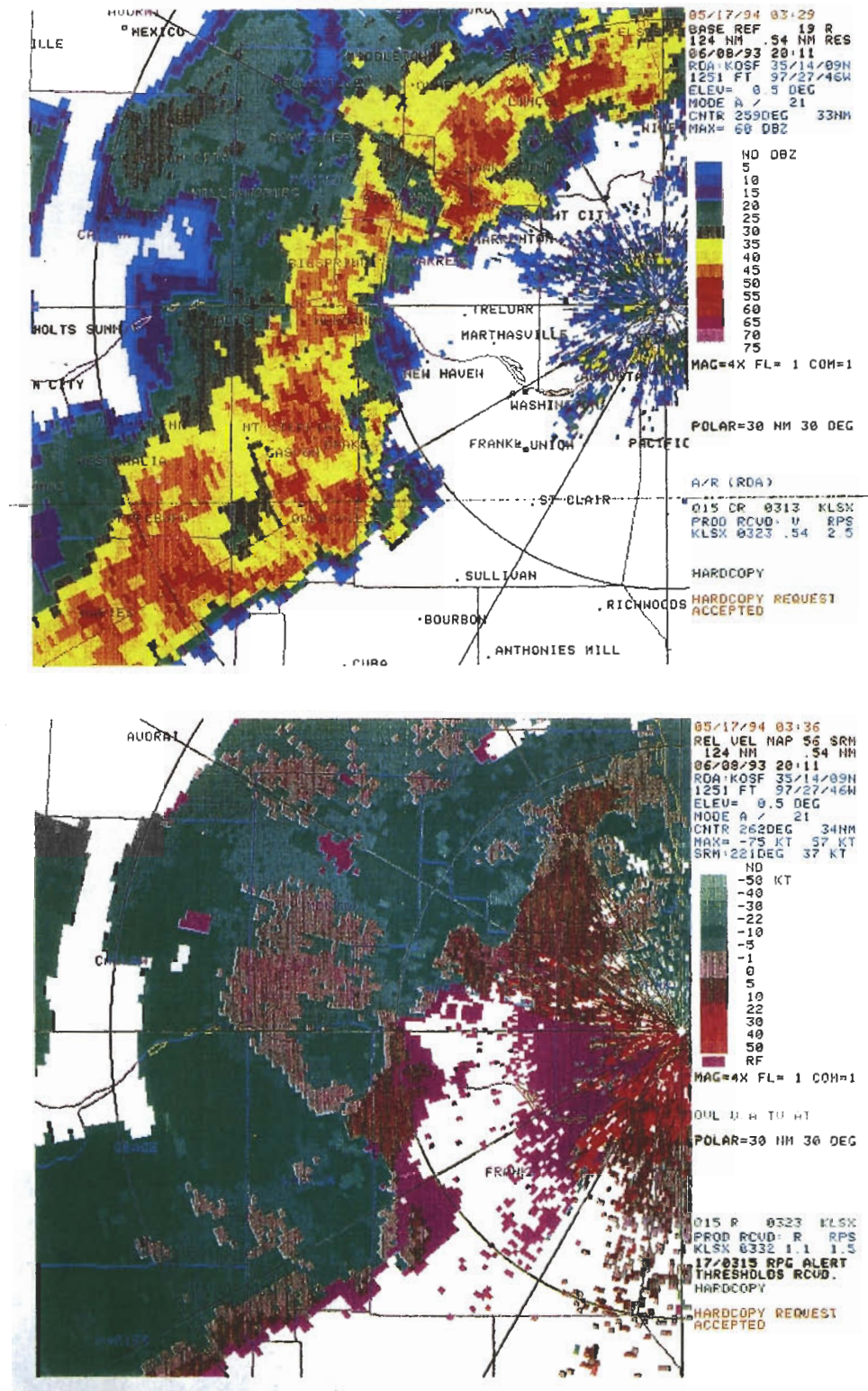


圖 19 1993 美國中西部大水災中一飢線系統之回波與風場配置，可明顯看出降水中心及風場輻合之情形。

確可提供預報能力。仍有許多單位由RAD之資料繼續發展產品或做學術上的研究。但是最可貴的是已有一獨立的單位專門做發展測試及評估（Development test and Evaluation），他們證實對於嚴重風暴確有很大的改善，VAD技術對於鋒面結構有很好表現、晴空風場之探測亦遠超過目前將汰換之氣象雷達系統，至於其他的項目則仍在評估之中。

由這兩年的檢討得知NEXRAD-WSR88D確實可大幅提升作業的能力，但其資料是否也可提升中尺度氣象之研究？由資料精密度的程度看來空間解析度應可滿足基本的須求。而在Oklahoma研究群大力提倡以Adjoint方法結合模式（Sun et al., 1991）及單都普勒雷達可提供一組完整三維風場及熱力場之資料組，不但可提供分析，並可進一步做為模擬之初始條件。這個方法在乾模式已獲得初步之成功，但還未完整，但為研究方面開了新的方向及資料的深度。如果可以將此類方法應用在單都普勒雷達網上，則NEXRAD在研究上可開創十分寬廣的應用。

（三）、台灣地區氣象雷達網連之規劃

高雄、花蓮的地理位置。由於受到中央山脈的阻隔。在台灣北部有一死角無法觀測，加以新式的NEXRAD資料量很大，如何將其傳輸至氣象局和其他單位交換是即時預報作業上一個重要的問題。因此氣象局自75年起全面規劃下一代雷達的建置及網連，最早決定的是在北部基隆附近之五份山區（海拔757公尺）建置第一座NEXRAD，這個地點除了在南方稍受中央山脈的阻隔外，其餘的方位角都不受阻擋，即北方、西方、東方都可看到。在80年氣象局亦和其他單位協調建立網連之共識，並在80年底再邀國際雷達專家評估，建議將高雄站廢除，改在台南及墾丁，並於81年請NCAR Wilson博士再赴這些地點實地探勘後定案。即氣象局本身將在五份山、花蓮、台南（七股）、墾丁四地興建四座NEXRAD WSR-88D的都普勒雷達，待這些計畫完成之後可更有效掌握臺灣以南，及巴拿馬之降水動態（見圖20）。都普勒氣象雷達網，預計在西元2000年前完成全部之建置。並在未來將中正機場、及清泉崗、甚至綠島、馬公的雷達資料全部納入網連系統，並彼此分享資料。

在這些網連的站之中，除了中正機場與五份山NEXRAD可做雙都普勒雷達觀測外，其餘都因相距太遠而只能做單都普勒雷達分析。由於雙的配置，可以將兩個雷達之徑向風場以幾何求解之方式求取真正三維U、V、W風場，因此此類大型都普勒雷達雖多，如相距太遠只有徑向風場並無法取得三維風場。

因此當一種新的觀念稱做（Bistatic dual doppler radar network；副靜式雙都普勒雷達網連）（Wurman, 1994）很受到已擁有NEXRAD之地區的重視。所謂副靜式（Bistatic）即是一個接收系統，本身並不發射電磁波而是靠一個都普勒雷達以電磁波照亮了雨雲後，此一接收系統從旁接受側邊散射的電磁波（Oblique scattering），再以所得的徑向風場與主體雷達所收之回波散射（backscattering）合成後求取三維的風場。此種儀器之雛型已做出來，並在野外做測試，結果不錯，圖21即是此種網連設置的情形。圖22為此種網連所求取之風場與雙都普勒風場之比較，此種系統造價便宜便於管理，缺點是被動式因此可測距離不太遠，10 dBZ之最低信號範圍約20公里，在未來可能可加強接收能力，將-5dBZ之範圍推至50~60公里左右。在台灣此種系統十分有用，如能置於任一NEXRAD之附近即可發揮雙都普勒之功能，所得之三維風，品

質將比用 VAD (Velocity Azimuth Display) 、 VVP (Velocity Volume Processing) 、或 TREC (Track Radar Echo by Correlation) 所得風場之品質好很多，又比 Adjoint 方法簡便，加以此儀器十分輕便、容易移動，對於地形複雜又將擁有多部 NEXRAD 的台灣地區是很令研究者興奮的新發現。

都卜勒氣象雷達觀測網涵蓋圖
交通部中央氣象局

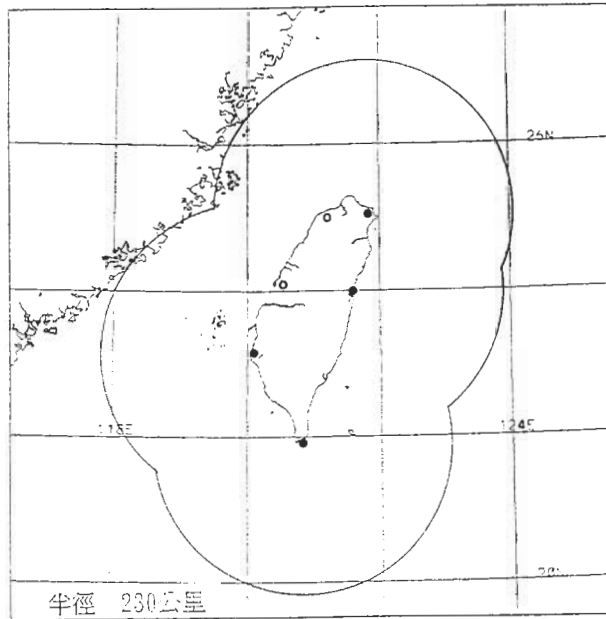


圖 20 網連中雷達之位置圖，其中•為NEXRAD-S-band ○為TDWR-C-band。

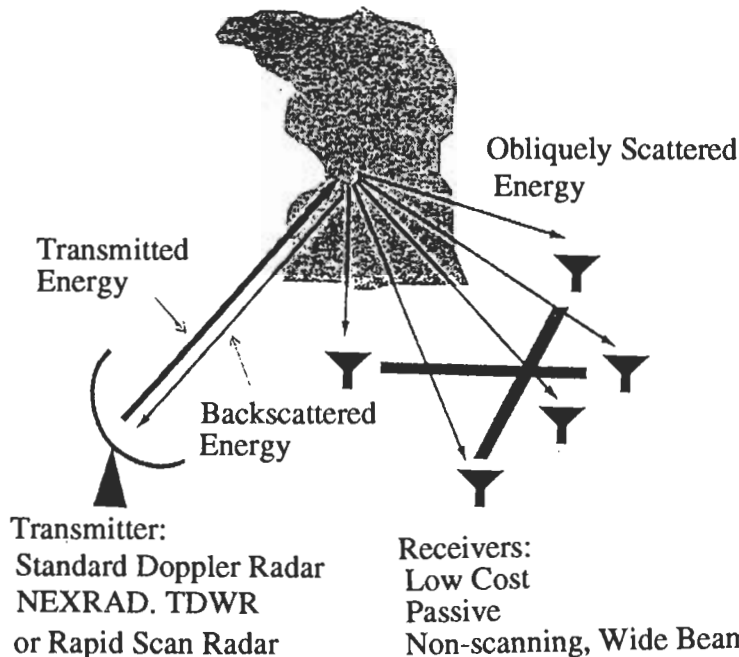


圖 21 副靜式雷達配置圖，其中單桿即表示副靜式接收器。（此圖摘自 Wurman, 1994）。

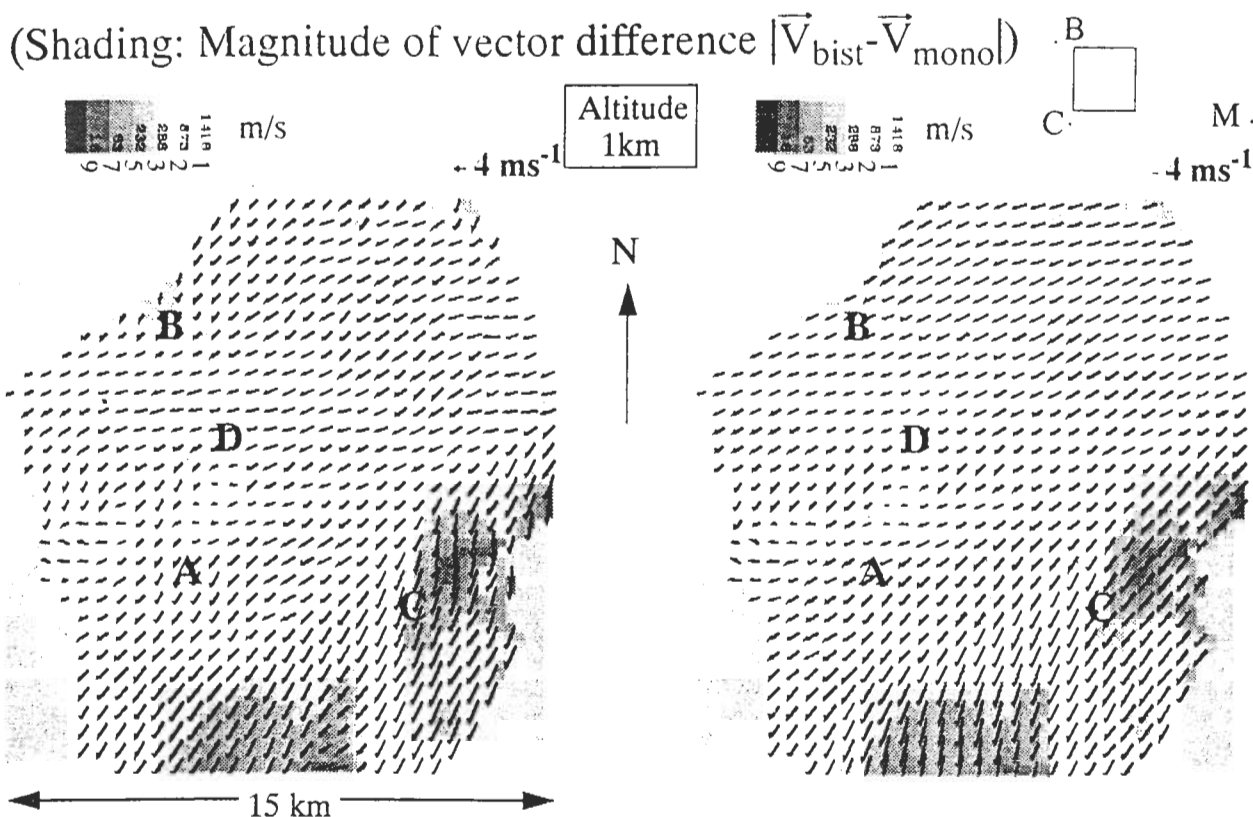


圖 22 副靜式網連（即一個正常都普勒雷達配置一個副靜式接收器）的雙都普勒反求風場與兩個雙都普勒風場之比較。（a）雙都普勒；（b）副靜式網連。（此圖摘自 Wurman, 1994）。

(四)、雷達觀測技術發展及研究

近年來隨著雷達的進步及參與研發人員的增加，雷達觀測分析技術大有進步。所得科學研究成果亦開始成長並回饋到預報作業上。以下即分成幾個大項簡單地介紹近幾年之發展。並討論未來新儀器設置好後研究工作與預報作業上的展望。

1、回波特徵結構

從早期之颱風中心定位，這一方面依據回波型態強度、走向、移動方向、垂直分佈等回波特性的來分類整理，並與天氣狀況比對的工作已進行了很久。自 76 年後國內多位學者採取較佳之都普勒雷達資料針對梅雨季，尤其是 TAMEX 的回波資料做了大量分析並加以分類如圖 23。Chen (1991)，丘等(1992)提出不同型態之降水系統和環境條件之分類，這一種工作的確有助於了解環境條件與降水系統間的關連，並進而能了解何種系統較易帶來災害。但是所做的結構分析由於 TAMEX 雷達網較偏北部，對中南部的降水無法做深入的研究，在七股及墾丁雷達 NEXRAD 裝置後。對於山區豪雨的機制可做較好的分析。在颱風季節裏，一些學者已開始進行回波分類的研究，但是由於花蓮仍是傳統雷達，風場的分析有許多限制，未來在 NEXRAD 建置好時，應可取得颱風季節更豐富的資訊。以了解颱風眼、雨帶、雨幕等等結構。

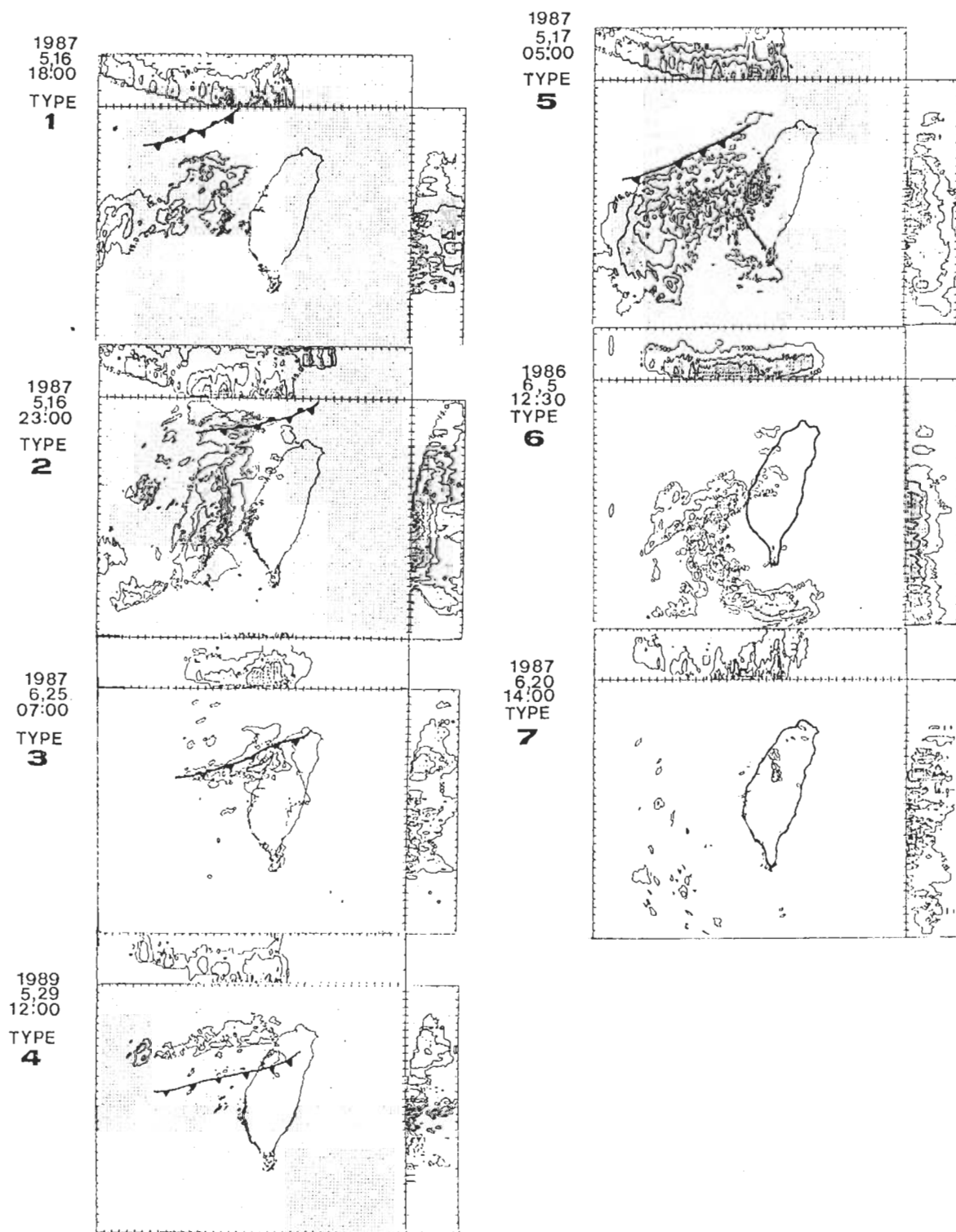


圖23 (Mei-Yu front降水系統水平型態分類圖) 梅雨季節根據雨帶型態之分類，其中採用的是高雄雷達之回波圖。最外一條等值線是15dBZ；> 35dBZ為黑色。其型態分類為：(1)鋒前雨帶；(2)鋒前飈線；(3)鋒區雨帶；(4)鋒後雨帶；(5)不規則降水系統；(6)、渦旋式降水系統；(7)小區域雷雨。

2、雨量

由於氣象局在西部設立之自動雨量網與數位化雷達的配合，如氣象局以客觀分析方法將雷達估計雨量與雨量計雨量互相配合求取最佳的雨量估計。中大應用P.D.F方法計算適合中正雷達之Z-R關係圖（圖24），以便於海上雨量之估計。由於新雷達裝置在即，未來雨量估計的方法仍須要發展。如何處理地面回波、海面回波、山岳阻擋，以及回波本身垂直分佈之特性與電磁波路徑之間的關係都值得探討。NEXRAD研究小組也發展了許多好方法，但是應用到每一個地點應有所調整。為配合TRMM雷達回波資料被視為衛星資料之地面校正（ground truth）因此如何以雷達資料在廣大水面上求取正確雨量資料方面的研究也正在進行中。

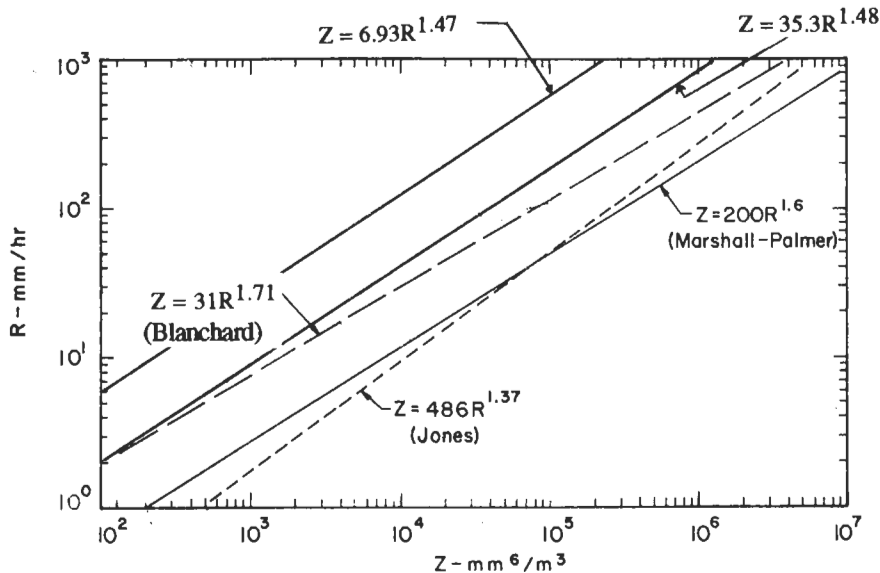


圖24 Z-R以中正機場78年5月29日，30日回波及雨量站以PDF方法求出之Z-R關係圖，其中 $Z = 6.93R^{1.49}$ 為對流性； $Z = 35.3R^{1.48}$ 為層狀性。

3、風場資料的應用

單都普勒風場之技術在民航局氣象中心中正機場的雷達人員最早開始開發應用。從VAD（Velocity Azimuth Display）和台大合作的EVAD（Extended VAD）已在每日作業下提供近機場之風場垂直剖面，如圖25即為EVAD之結果（楊健生提供）。另外CAPPI、RHI這些基本的風場應用，也可在很多個案分析中用到。中大與台大的雷達氣象研究小組也應用VVP（圖26）、TREC（圖27）、VAD（圖28，29）、GBVTD（圖30；周等，1994）等單雷達的技術，得到初步之結果，對於許多天氣系統如梅雨鋒面結構（Lin et. al, 1990）和颱風環流（周等，1994）特徵等增加許多的了解。

此外TAMEX所收之多都普勒資料，因提供完整三維風，故在國內TAMEX中多組IOP之三維結構已有深入的解析，如Jou and Deng (1992)；Wang et. al. (1990)，如圖31為颱風線之剖面結構。在未來NEXRAD雷達網大量風場資料即時進入作業單位時，如何以最快最正確方法將單都普勒風場資訊經過初步處理以較易理解的方式傳達給使用的預報人員眼中，是很重要的工作。

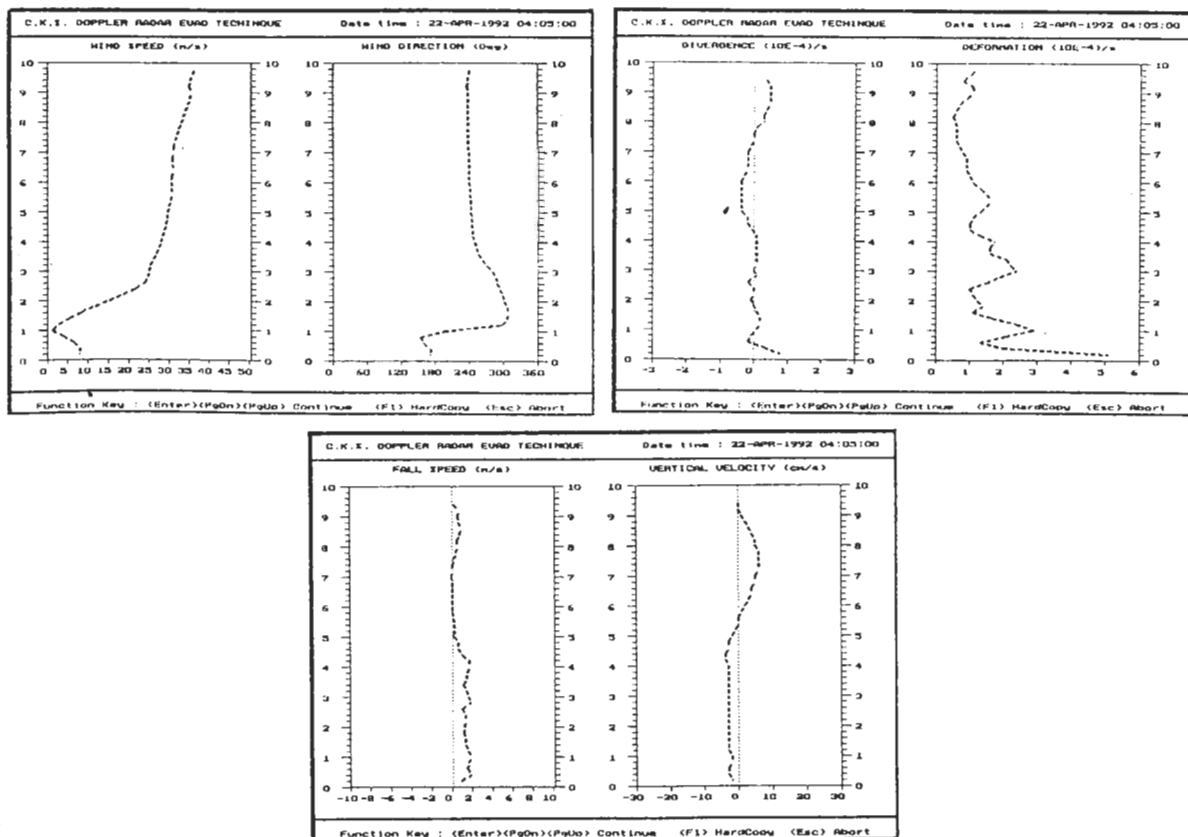


圖25 中正機場所得之EVAD圖，分別為風向、風速、輻散場、變形場和垂直空氣速度之垂直剖面圖。

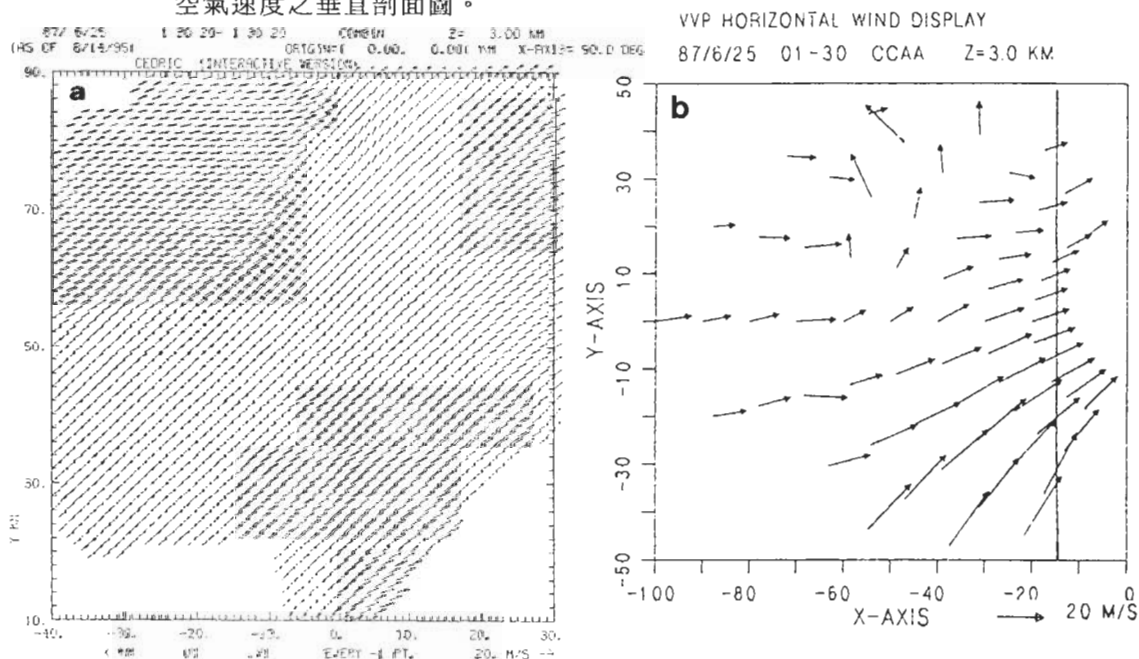


圖26 VVP應用於1987年6月25日TOGA雷達所得MCS之風場結構圖。(a) 雙都普勒；(b) VVP技術。

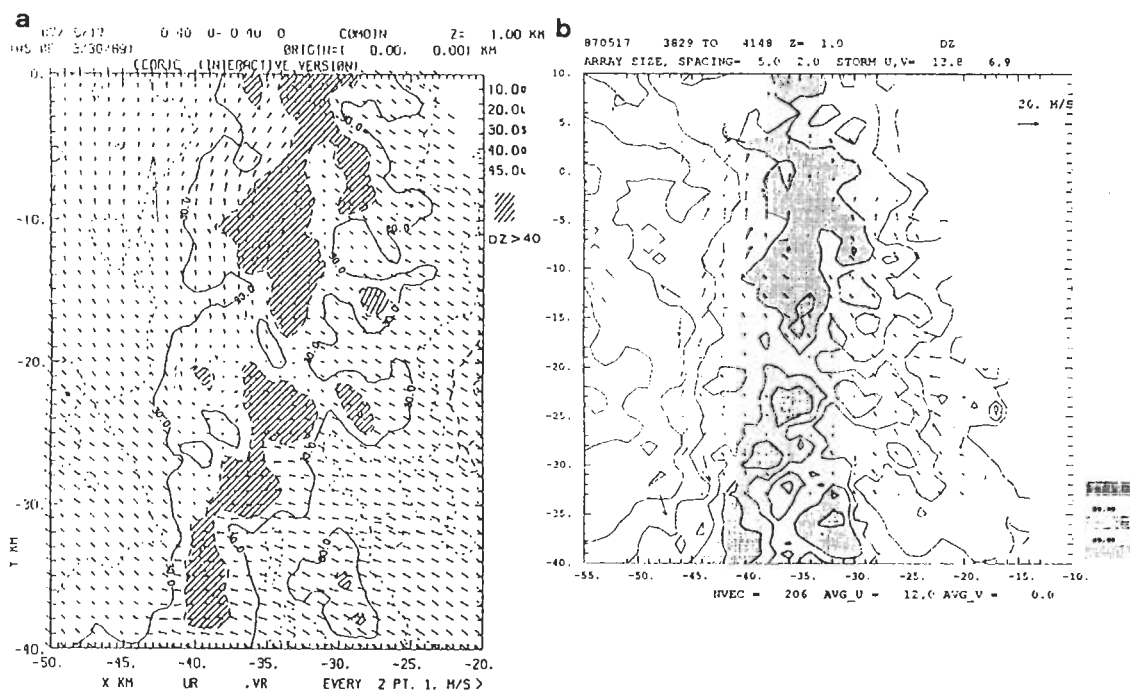


圖27 TREC技術用於1987年5月17日CP4雷達所得飈線系統風場結構圖。(a)雙都普勒；(b)TREC。

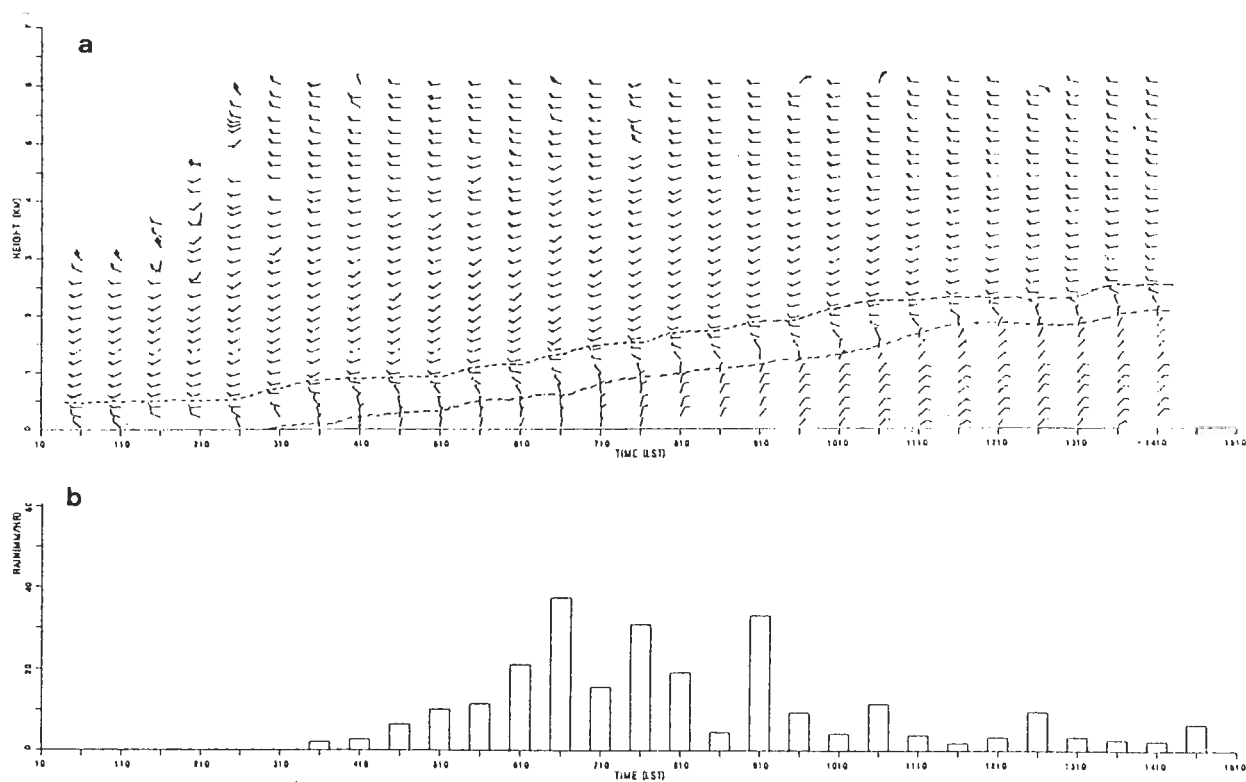


圖28 VAD所得鋒面走時風場剖面圖，此兩鋒面斜度清晰可見。

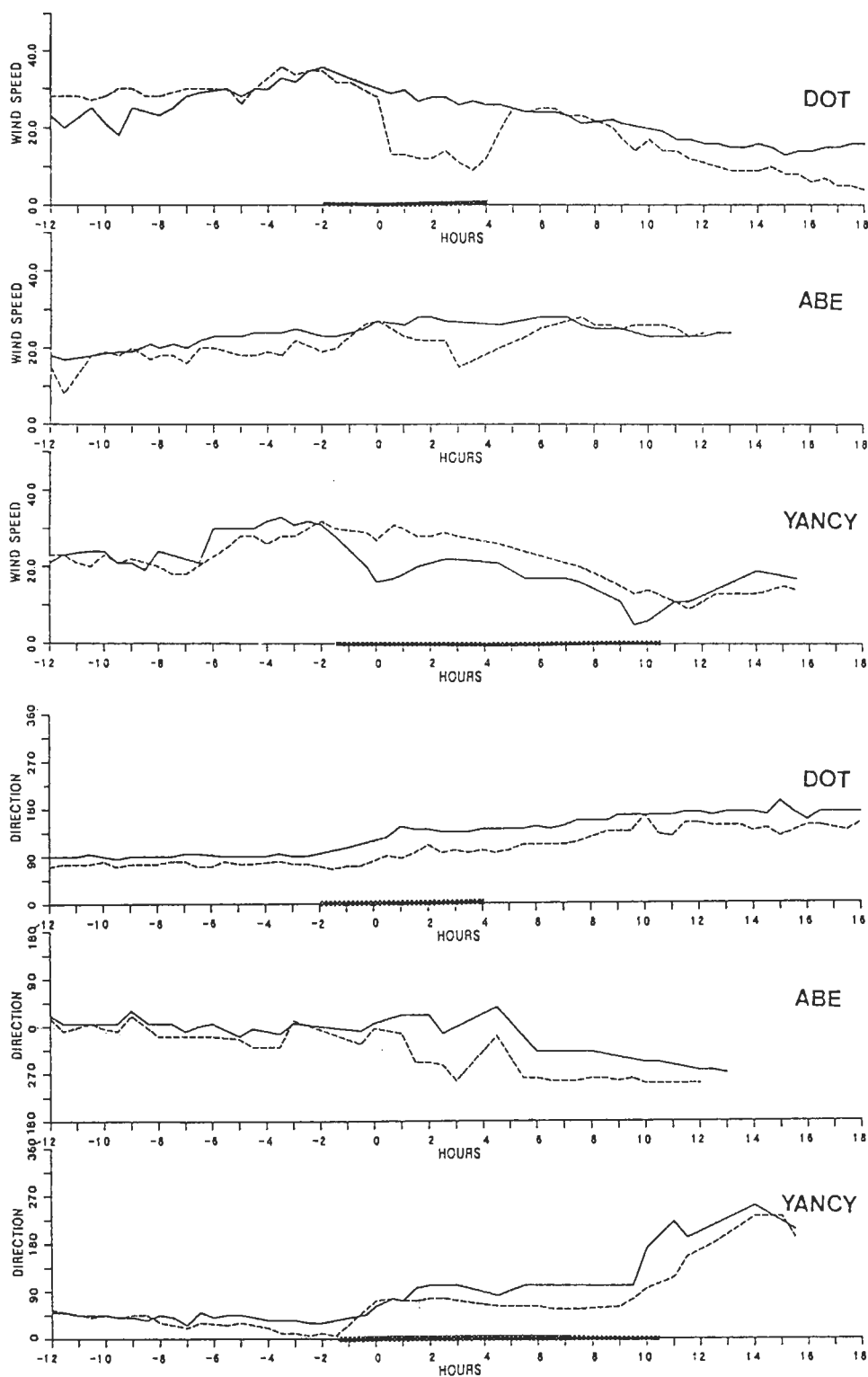


圖 29 VAD 所得颱風走時風速、風向圖，颱風的氣流過山情形十分清楚（時間軸之黑粗線，即為颱風在陸地上之時間）。

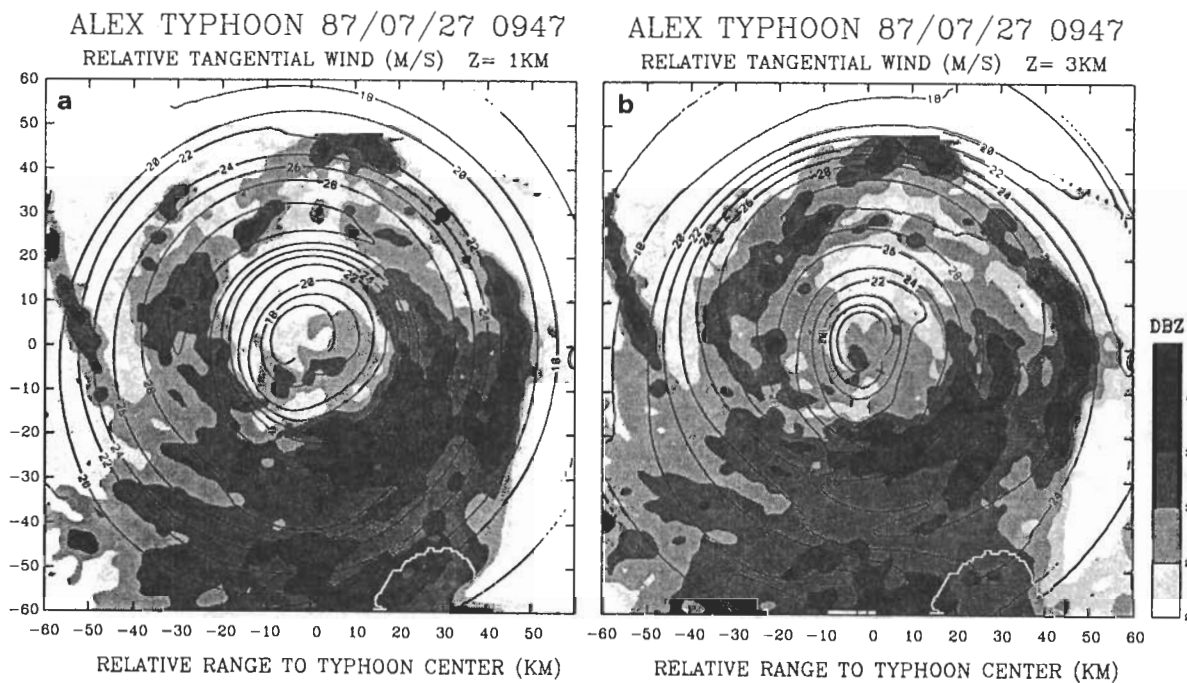


圖30 GBVTD所得颱風切線風場之分佈。此圖摘自(周等, 1994)。

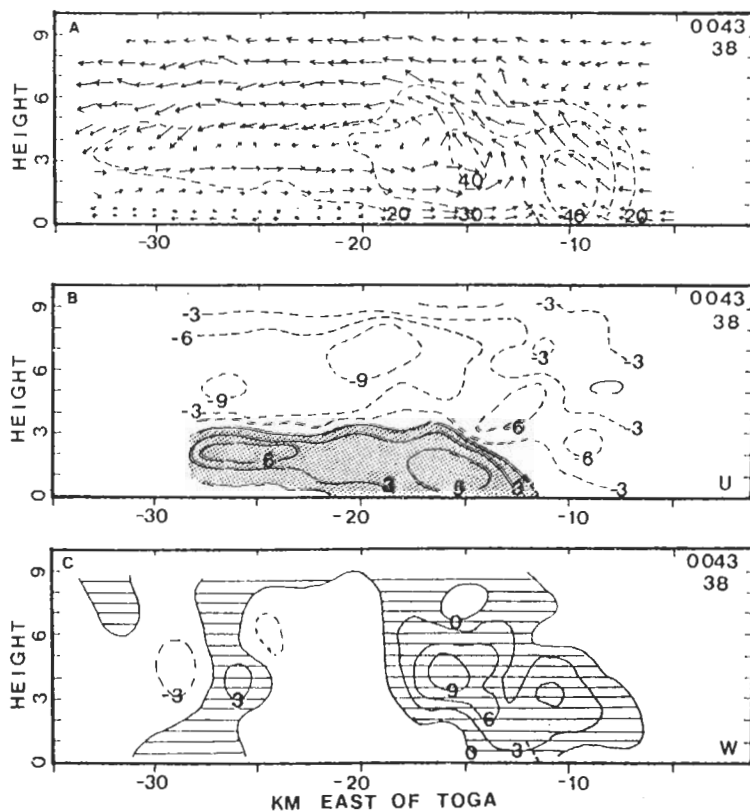


圖31 雙都普勒所得颱風線剖面圖。(a)為風場及回波；(b)水平相對風場；(c)垂直風場。(此圖摘自Wang et. al.,1990)。

。而在研究單位如能以 Adjoint 方法結合單普勒風場及模式則可以提供完整的三維風場及動力場。但此種方法的發展仍須投注大量的研究人力，不過是值得努力的方向。因為可以同時提供模式的初始場，故在一接近雲模式可能成為預報模式的時代，可得到接近實際的初始風場也是很有意義的。

4、網連後研究的展望

如何在同一校正標準下完成網連，並將所有資訊集中到同一系統中，使環全島有完整的一個雷達回波降水演變的資訊可同時呈現，而不會有顧此失彼的問題。目前中央氣象局的即時天氣預報系統（WINS）已可做到花蓮、高雄及清泉崗雷達回波之合成分析（圖32），如一颱風系統自東向西穿過台灣，過山的情形透過網連則可清楚呈現。對做研究人員而言，已經統合的資料可節省許多分別處理的時間。另一方面由於雷達資料量甚大，故如何規劃一大型的雷達網連資料中心，和研究如何經過取舍產生一組共同坐標的雷達網連資料也是未來的一件重要工作。未來十年是台灣氣象雷達建置發展之重要時段，（NEXRAD）下一代雷達硬體的設置規劃十分完備，也為台灣中尺度研究人員帶來光明的遠景，但是台灣雷達作業人員、研究人員人口都很少。故未來作業發展及研究推展都將有人手不足夠的問題產生。繼續提升研究人員的人力及水準，吸收新知，妥善規劃資料的管理應是氣象雷達未來發展的重點。

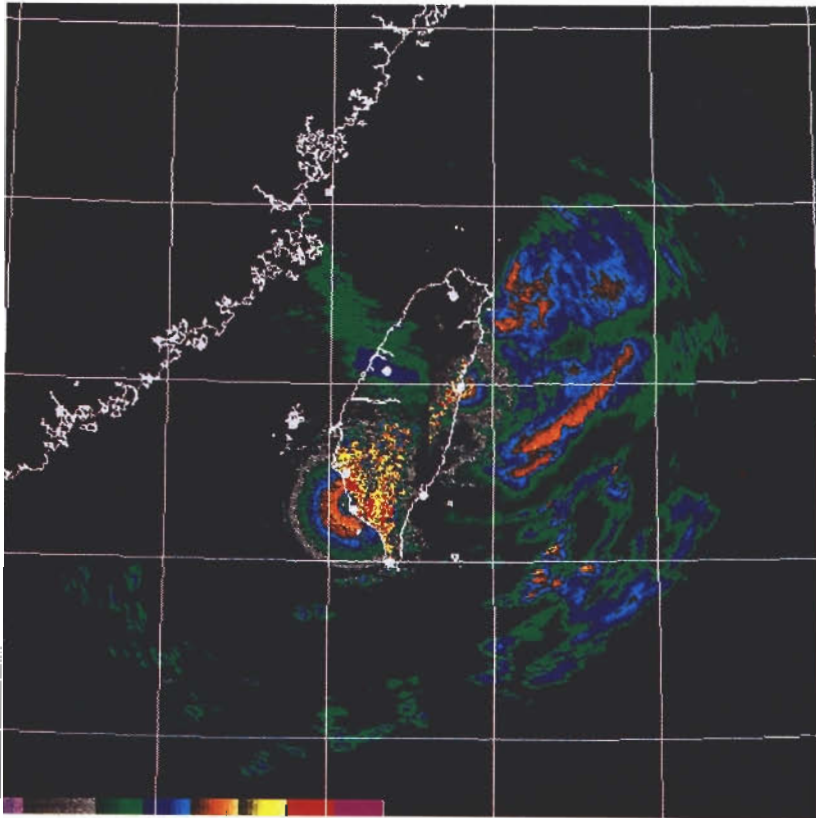


圖32 84年2月20日，鋒面雨帶，WINS系統花蓮雷達，高雄雷達與清泉崗雷達即時合成分析之降水回波強度分析。

四、氣象衛星觀測資料之相關研究

(一)、氣象衛星觀測資料之相關研究

AVHRR 輻射儀、TOVS 探空儀、SSM/I 微波影像儀，三種儀器是目前全世界廣泛應用之衛星遙測儀器，可計算多種地面及大氣之參數。於下文中將詳加介紹。

(二)、AVHRR 輻射儀(Advance Very High Resolution Radiometer)

AVHRR 輻射計主要目的為拍攝可見光和紅外雲圖，其五個頻道分別位於可見光近紅外及紅外波段。其相關之研究如下：

1、植被指數(Scaled Calibrated Vegetation Index)

應用第一、第二頻道資料，可求取各地區的SCVI參數值(Kidwell,1990)，並配合地表真實資料加以驗證及修正之。此種資料可應用於植物生長情形之研判、植被分布之評估、以及饑荒地區之預警等。

2、海面溫度(Sea Surface Temperature)

由以往之經驗可以了解，利用船舶或飛機進行海溫觀測具有種種限制性。只有利用衛星遙測法才能突破上述限制，對全球的海面溫度進行例行作業觀測。不但如此，地球同步衛星還可以接收浮標觀測到的數據，並傳送到數據匯集中心。

海面溫度遙測的準確度受到大氣的影響很大。從海溫遙測的觀點來看，雲是噪聲，故必須除去觀測區域內雲的影響。另一方面，雲的影響濾除以後得到的溫度是晴空亮度溫度，並不是海面溫度。在紅外窗區頻道進行觀測時，雖大氣中物質的吸收很微，但仍有若干影響，故真正的海面溫度和亮度溫度之間仍有差異，這個差值稱為大氣訂正值，必須準確地決定出來(曾忠一,1988)。圖33為應用NOAA的AVHRR觀測資料，經大氣糾正後由輻射傳遞方程推求得台灣附近之海面溫度。

3、雲參數(Cloud Parameters)

利用可見光和紅外窗區頻道資料，配合雙閾值法和空間連貫法，可推求雲量及雲頂溫度。衛星觀測資料除了提供雲圖做為天氣分析與預報的參考之外，還具有其他關於雲的資訊。這些雲的資訊在下列幾方面特別有用：

- (a) 由於雲與輻射間有強烈的相互作用，雲的時空分布在氣候系統中扮演重要的角色。雲會顯著地影響氣候系統對擾動的反應，這些擾動包括由於人類活動引起二氧化碳含量增加等等。另外，雲分布的資訊可以用來驗證氣候模式。
- (b) 雲的資訊對數值預報模式、環流模式以及氣候模式中雲參數化問題相當有幫助。由雲的移動所推估之風場，對測站稀少的廣大海面地區亦可提供較完整的風場資料(參閱圖34)。

- (c) 雲的資訊可以用來確定降水區域，並且估計雨量(圖35)。
- (d) 對海面溫度、氣溫垂直分布的遙測來說，雲是一種干擾，雲的資訊可以用來除去雲對輻射傳遞所造成的影響。

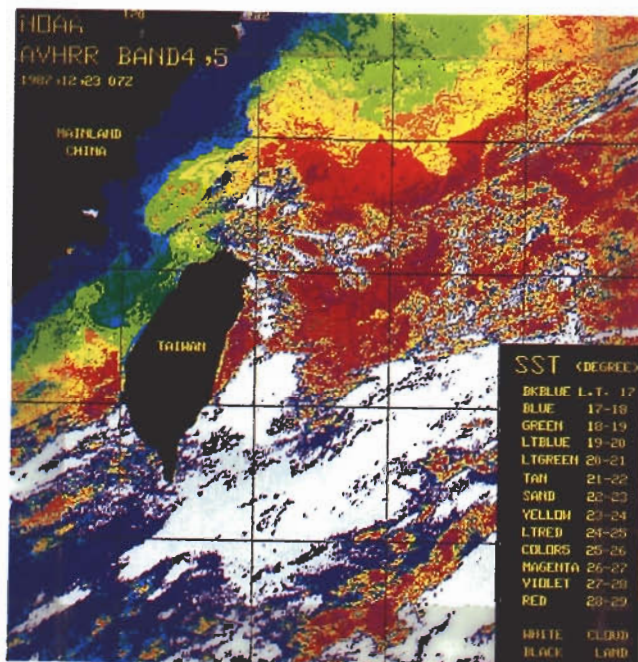


圖33 應用AVHRR第四、第五頻道資料，經大氣糾正後由輻射傳遞方程推求得之臺灣附近海面溫度。(國立中央大學太空及遙測研究中心提供)。

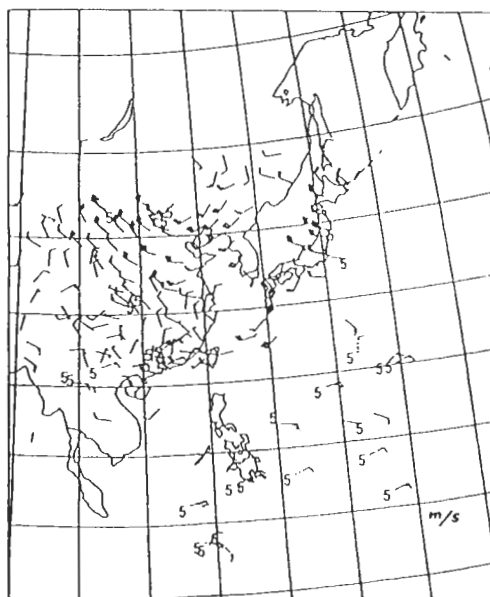


圖34 應用同步衛星資料(GMS-4)作雲追蹤與實際探空資料做比較(劉等,1994)

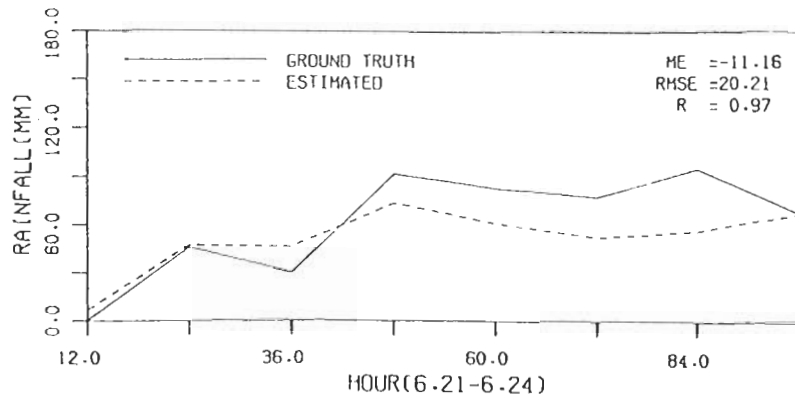


圖 35 應用同步衛星資料(GMS - 4)反演估算台灣南部地區之降水量與地面實測資料的比較。(劉等,1992)。

4、地球長波輻射(Outgoing Longwave Radiation)

應用紅外頻道資料，可估算長波射出輻射值。配合可見光頻道資料將可估算全球輻射能量收支平衡之概況。

地球輻射收支的三個主要成分是太陽常數、大氣層頂處的行星反照率和射出長波輻射通量密度。目前太陽同步衛星TIROS-N系列、地球同步衛星以及地球輻射收支計畫(包括ERBE,NOAA-9,10,11,12)皆可用來進行地球大氣輻射收支遙測。地表和大氣系統之能量收支情形，對於長期氣候預測之研究有很大的幫助。長期的觀測資料將更深入地瞭解地球大氣輻射收支的趨勢，更利於氣候型態之研究。

(三)、TOVS 探空儀(TIROS Operational Vertical Sounder)

TOVS垂直探測器主要目的在於探測地表到10毫巴的氣溫和水汽垂直分布及臭氧總含量。TOVS由三種儀器組成，包括紅外輻射探測器HIRS/2，平流層探測單元SSU及微波探測單元MSU。其相關之研究如下：

1、大氣垂直溫濕剖面之遙測

衛星輻射計觀測到的大氣放射輻射強度，具有大氣中溫度與吸收氣體垂直分布的資訊，而其輻射強度隨波數或波長而變動。這種變動的原因有兩個，一為黑體輻射強度隨波數而不同，另一為氣體的吸收對波長具強烈的選擇性。在一個較窄的吸收帶內，第一個原因可以略去不計，而第二個原因才是最主要的影響。每個吸收帶包含許多非常窄的吸收線。在吸收帶中心處吸收線相當強；在吸收帶翼區，吸收線則較弱。如果選擇位於吸收帶中心的頻道，氣體的吸收特別強，因此來自下層的輻射幾乎完全被上層的大氣吸收掉，放射出的輻射就幾乎全是來自最上層大氣的貢獻；相反的，如果選擇的頻道大氣對其影響非常接近於透明（如吸收帶的翼區），則放射輻射主要來自低層大氣或地表。因此，若仔細選取一組合適的吸收特性不同的頻道進行觀測，就可間接求出氣溫或吸收氣體的垂直分布，這就是頻譜法遙測的原理。假如選用均勻混合

氣體的吸收帶，那麼就可以估算氣溫垂直分布。利用 HIRS/2 位於水汽及二氧化碳吸收帶之頻道，可估算水汽及氣溫之垂直分布。圖36即是由 TOVS 資料經反演計算所得之大氣垂直溫度及露點在與傳統探空資料之比較結果。

2、臭氧總含量

HIRS/2 第9頻道位於臭氧之吸收帶，可估算臭氧之總含量。圖37為應用氣象衛星資料(NOAA-11)估算台灣地區大氣臭氧含量垂直剖面分布之結果。

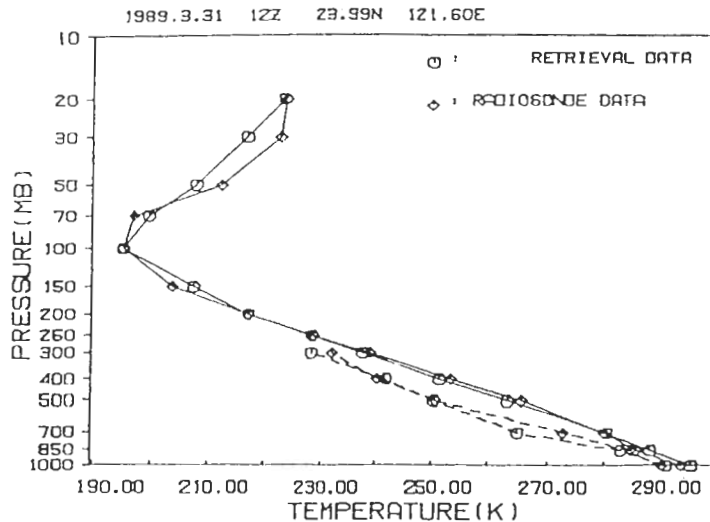


圖36 由 TOVS 資料經反演計算所得之大氣垂直溫度及露點與傳統探空資料之比較。(劉和黃,1990)。

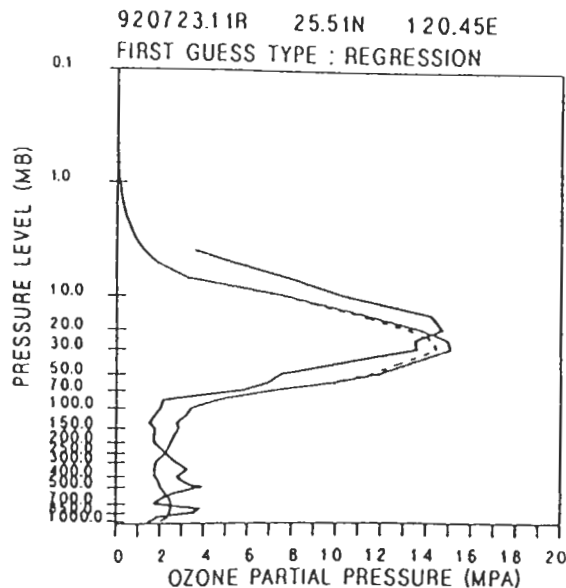


圖37 應用繞極衛星資料(NOAA-11)反演計算台灣地區大氣臭氧剖面之結果。粗黑線為探空資料，細黑線為由衛星資料估算之結果，虛線則為初始剖面值。

3、天氣系統之監視和預報

地球同步衛星的密集監測，再配合繞極衛星的高解像的分析，將可對各類之天氣系統的動向和發展有效地掌握及預報。配合傳統地面及高空觀測資料，可研究發展即時預報系統和天氣監視系統（圖38）。

4、對數值天氣預報(NWP)之幫助

利用 TOVS 觀測之輻射資料或即時反演的溫溼剖面配合數值預報在應用傳統探空資料為之初始值時，可彌補地面資料或探空資料之不足，以改進預報結果之準確性，為目前極具前瞻性之研究。尤其在海洋或無測站資料之區域，將更能發揮其效用，克服傳統觀測資料在時、空上分佈不均之缺點。

5、颱風強度、路徑之預估

由於 MSU 4 個微波頻道受雲之影響很小，可用來探測颱風附近之氣溫垂直分布情況，再利用溫度梯度與颱風強度之關係和冷心位置與颱風走向之相關性可估算颱風強度及未來路徑，此方法可彌補目前應用可見光或紅外線資料評估颱風強度時，由於無法深入瞭解颱風厚實雲層內之資訊所形成估算偏差之缺失。

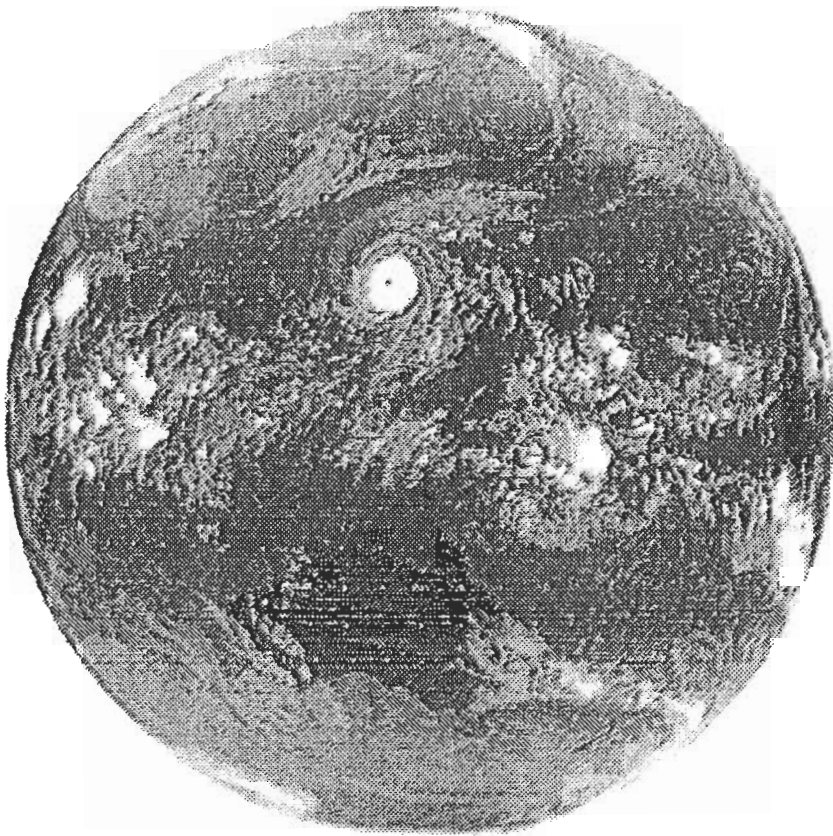


圖38 地球同步衛星GMS紅外頻道所拍攝之雲圖，其中近中心處上方之圓亮雲團為颱風。（國立中央大學太空及遙測研究中心提供）。

6、降水量

利用微波和雨滴不同大小間具不同強度之相互作用特性，MSU 資料亦可用來估算降水量。

7、未來 AMSU 之優點

- (a) 星下點地面分辨率由原來之 110 公里改善為 50 公里或 16.7 公里，對於局部區域之偵測分析將有明顯的幫助。
- (b) 頻道數目增加為 20 個頻道，將可測定海面溫度、海面風、降雨強度、可降水量、氣溫垂直分布以及雲柱總含水量等氣象和海洋要素。

(四)、SSM/I 微波影像儀(Special Sensor Microwave Imager)

SSM/I 微波探測器具有 4 個微波頻道，可提供全球的水氣含量、液態水含量、降水量及地表風速等之分布型態及大小值。此外亦可辨別颱風的細微結構，便於分析颱風之特性及動向。圖 39 是由 DMSP SSM/I 微波資料估算 1987 年 8 月 31 日 - 9 月 13 日全球水汽含量平均值及標準偏差值。圖 40 則為估算 1987 年 8 月 31 日 - 9 月 13 日全球海洋上降雨量之分布情形。

(五)、未來研究發展之展望

衛星資料的應用，在台灣的大氣科學界可說仍僅處於影像分析之階段。對於衛星三維空間資料的求取，雖然國立中央大學太空及遙測研究中心和大氣物理研究所均曾從事部份的研究工作，也取得一定程度的研究成果，不過對於後續衛星資料的分析，應用與和其它傳統資料的融合研究則仍極罕見。究其原因不只是研究人口的稀少，對於數值衛星資料的陌生與缺乏信賴感，亦為造成衛星資料在協助其它台灣大氣科學界之研究的遲滯。此外目前雖然能提供衛星資料的單位不少(如中央氣象局、國立中央大學太空及遙測研究中心、水產試驗所，以及海洋大學等)，不過由於各單位對衛星資料需求之目的不盡相同，因此在收錄處理與提供方面均未能統一標準，因此未來發展之首要任務除繼續提升研究人員之質與量外，妥善規劃衛星資料的接收，處理與提供研究人員迅速方便且經濟的使用流程，以及不同領域間對衛星資料應用的瞭解與經驗交流，實為未來衛星氣象發展之當務之急。

五、結論

氣象儀器之進步日新月異，本文只取其中幾項來介紹：

於衛星方面，應用衛星資料有諸多優點，尤其在空間和時效上為其它傳統方法所不及。隨著研究之進展，氣象衛星已成為氣象界之利器，且有不可或缺之趨勢。許多先進國家由於在衛星科技發展上均以氣象衛星為重點項目之一，不僅造福民生，如防颱、防洪、漁汛、飛航安全等

監測，並可作為其它用途衛星的研究基礎。此外AVHRR在飢荒地區之研判亦有相當之成就。因此，氣象衛星之研究發展，實應為我國發展衛星科技之重點項目之一。

對氣象雷達而言，雷達觀測的目標都是和人民生活息息相關的現象，尤其台灣地區豪雨、颱風年年有之，未來的更新及網連可提供一個環全台的氣象雷達之完整資訊，使研究可進一步發展。且可利用多種技術（1）、在層狀雨之狀況下計算風場及輻散場隨高度之改變，（2）、在有鋒面情況下估計垂直速度、水平風切強弱及風切帶位置，（3）、在小尺度之強烈對流時估計強烈渦旋及輻散輻合之位置及強度。並可進一步有利於預報作業的發展。

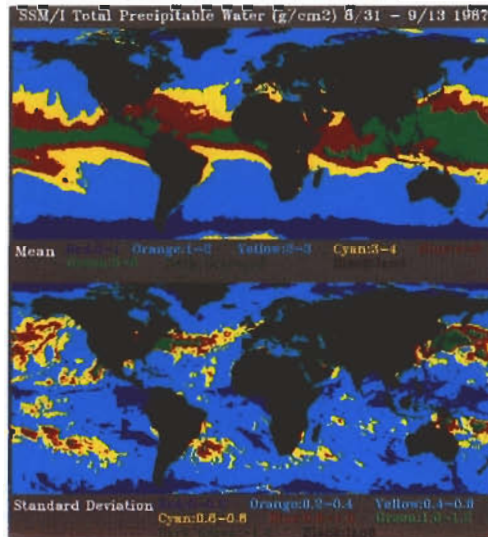


圖 39 由DMSP SSM/I微波資料估算1987年8月31日-9月13日全球水氣含量平均值及標準偏差值。(Huang et. al., 1992)。

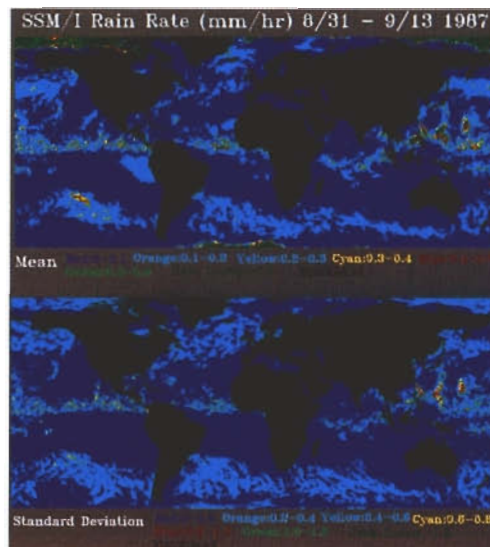


圖 40 由DMSP SSM/I微波資料估算1987年8月31日-9月13日全球降雨量平均值及標準偏差值。(Huang et. al., 1992)。

綜合ISS系統在諾魯參加TOGA/COARE實驗的表現情形來看，各子系統的功能均符合我方 toward 美方採購時的要求。而我方在實驗期間的實際操作及在中央大學架設時的全程參與，亦使我們擁有足夠的觀測及簡易維修能力。此外，由以上諸多分析圖例，也顯示可迅速而多方面的將所觀測資料予以分析並以圖形顯示，更增加此系統的功能。期望本系統在未來除了能提供一卓越的觀測能力外，亦希望此系統所提供的資料使我們在邊界層氣象，中尺度氣象以及短期天氣分析與預報的研究上更上層樓。

綜合上述，其中有的是學術單位透過大型實驗由國科會及支援取得如ISS，有的是作業單位全力發展如各單位之都普勒雷達，而衛星方面則透過國際資料之管道。無論是任何一種方式，在未來國內氣象界的應用及研究都會向資料整合的方向發展。如氣象局 WINS (Weather Integrated and Nowcasting System)，學術研究也會將各類資料綜合起來做好的個案研究，在做各種觀測實驗時，更須要事先審慎做好各項儀器的品質檢定與資料比對工作，務求各類儀器的觀測結果能夠有圓滿的配合。因此介紹不同儀器的功能及研究的發展是本文拋磚引玉的目地。並且呼籲更多的人才投入觀測儀器本身及資料使用方法的發展。也希望更多的人才，使用這些新近儀器的資料來做更進一步之研究。

誌 謝

本文承氣象局第四組組長黃維智先生，民航局氣象中心中正氣象台台長李金萬先生提供寶貴資料，中央大學大氣物理所盛揚帆先生、賴信志先生協助繪圖，中央大學太空遙測中心林唐煌先生及大物所楊淑蓉小姐、洪文山先生、陳家慧小姐幫忙打字，在此一併誌謝。本文在國科會研究計劃NSC84-2111-M-008-004 AP3，NSC83-0414-P-008-007B，NSC82-0202-M-008-081的部份經費補助之下完成，特致謝意。

參考文獻

- 丘台光、陳台琦與王時鼎，1992：台灣地區春夏降水型態與局部環境條件分析之研究（二）。行政院國家科學委員會防災研究報告80-69號，NSC 80-0414-P052-08B。
- 劉振榮、呂貴寶與徐天佑，1992：應用同步衛星資料估算台灣地區對流降雨。大氣科學，20，233-265。
- 周仲島、張保亮與李文兆，1994：都普勒雷達在颱風環流中尺度結構分析的應用。大氣科學，22，163-186。
- 劉振榮、林唐煌與徐健瑤，1994：應用同步衛星資料估算風場之研究。第三屆國防科技學術研討會，中正理工學院，1994年10月5日。
- 劉振榮與黃白萍，1990：中壢特高頻雷達資料在衛星遙測大氣垂直溫度剖面上之應用。第九屆測量學術及應用研討會，國立成功大學，1990年4月13-14日。
- 曾忠一，1988：大氣衛星遙測學。渤海堂，台灣台北。
- Augustine, J. A., and E. J. Zipser, 1987: The use of wind profilers in a mesoscale experiment. Bull. Amer. Meteor. Soc., 68, 4-17.

- Balsey, B.B., and K.S. Gage, 1982 : On the use of radars for Operational Wind profiling. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **63**, 1009-1018.
- Chen, G.T.-J., 1991 : Mesoscale features observed in the Taiwan Mei-Yu season. *J. Meteor. Soc. Japan.*, **10**, 497-516.
- Corbet, J., and C. Mueller, 1991 : zeb:Software for data integration and display, and analyses. *25th Int. Conf. on Radar Meteorology*, Paris, France, Amer. Meteor. Soc., 216-223.
- Dabberdt, W. F., and R. M. Hardesty, 1990 : Summary of the Symposium on Lower Tropospheric Wind Profiling : Needs and Technologies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 665-671.
- Dabberdt, W. F., D. Parsons, C. Martin, J. Dudhia, Y. H. Kuo, S. Oncley, and J. van Baelen, 1993 : Preliminary tests of an integrated data assimilation and sounding system. *Symp. on Global Change Studies*, Amer. Meteor. Soc., Anaheim, California, 163 - 168.
- Deng, Z.-S., C.-S. Chen, 1994 : A method to obtain the kinematic structure of a squall line derived from dual-doppler radar in a terrain-following coordinate system. *Proc. Natl. Sci. Council. ROC(A)*, **18**, 2, 174-185.
- Gage, K. S., B. B. Balsley, W. L. Ecklund, R. F. Woodman, and S. K. Avery, 1990 : A trans-Pacific network of wind profiling Doppler radars for tropical atmospheric research. *EOS*, **71**, 1851-1854.
- Hooke, W. H., D. L. Albritton, R. E. Carbone, T. Gal-Chen, C. W. Krietzberg, C. G. Little, and H. Tennekes, 1990 : Report of the critical review panel - Lower Tropospheric Profiling Symposium : Needs and Technologies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 682 - 692.
- Huo-Hin Huang, Liu Gin-Rong and Lin Tang-Huang, 1992 : Western Pacific Moisture Analysis as Observed from DMSP SSM/I Measurements. *TAO*, **3**, 4, 557-586.
- Jou, B.J.-D. and S.M., Deng, 1992 : Structure of a low-level Jet and it's Role in Triggering and Organizing Moist Convection over Taiwan: A TAMEX Case study. *TAO.*, **3**, 1, 39-58.
- Kidwell, K. B., 1990 : Global vegetation index user's guide. NOAA/NESDIS/NCDC Satellite Data Service Division.
- Klazura, G.E., and D.A. Imy 1993 : A brief description of the initial set of analysis products available from the NEXRAD WSR-88D system. *26th International conference on radar meteorology*. A.M.S., 1993. Oklahoma.
- Lin, Pay Liam, Tai-Chi Chen Wang and Chin-Chin Yeh, 1990 : Doppler observational study of a long-lived rainband in TAMEX IOP # 13. *P.M.R.*, **12**, 2, 91-119.
- Parsons, D. B., M. A. Shapiro, R. M. Hardesty, R. J. Zamora, and J. M. Intrieri, 1991 : The finescale structure of a west Texas dryline. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1242 - 1258.
- Parsons, D.B., W. Dabberdt, H. Cole, T. Hock, C. Martin, A. Barrett, E. Miller, M. Spowart, M. Howard, W. Ecklund, D. Carter, K. Gage, and J. Wilson, 1994 : The Integrated Sounding System : Description and preliminary observations from TOGA COARE. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **75**, 553-567.
- Shapiro, M. A., T. Hampel, and D. W. Van deKamp, 1984 : Radar wind profiler observations of fronts and jet streams. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1263-1266.
- Smith, W. L., Revercomb, H. E., Howell, H. B. Woolf, H. M., Knuteson, R. O., Decker, R. G., Lynch, M. J., Westwater, E. R., Strauch, R. G., Moran, K. P., Stankov, B., Falls, M. J., Jordan, J., Jacobsen, M., Dabberdt, W. F., McBeth, R., Albright, G., Paneitz, C., Wright, G., May, P. T., and M. T. Decker, 1990 : GAPEX : A ground - based atmospheric profiling experiment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 310-318.

- Strauch, R. G. , D. A. Merritt , K. P. Moran, K. B. Earnshaw , and D. V. d.Kamp, 1984 : The Colorado wind - profiling network. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **1**, 37-49.
- Sun,J.,D.W.Flicker and D.K.lilly, 1991 : Recovery of three-dimensional wind and Temperature fields from simulated Single-Doppler radar data. *J. Atmos. Sci.*,**48** , 876-890.
- Wang,T.-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.
- Webster , P. J. , and R. Lukas, 1992 : TOGA COARE : The Coupled Ocean - Atmosphere Response Experiment . *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **73** , 1377 - 1416.
- Wurman, J., 1994 : Vector winds from a Single-Transmitter Bistatic Dual Doppler Radar Network. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **75**, 6, 983-994.
- Zamora , R. J. , M. A. Shapiro , and C. A. Doswell III , 1987 : The diagnosis of uppwer tropospheric divergence and ageostrophic wind using profile wind observations. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 871-884.

The Recent Development of Meteorological Instrumentation and Observation Study in Taiwan

Pay-Liam Lin Gin-Rong Liu Tai-Chi Chen Wang

Institute of Atmospheric Physics
National Central University

ABSTRACT

In past ten years, the observation instrumentation has great progress in Taiwan. For example, the high density automatic surface stations and rain gauges network cover the most area of Taiwan. A Doppler radar network including four NEXRAD radars will be installed around the island by A.C.2000. Among many new development of instrumentation, we will briefly introduce three different types instruments and their applications to the operation and research.

First, the Intergrated Sounding System (ISS) developed at National Center of Atmospheric Research of United State was acquired for its first purpose, the TOGA COARE (Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment) experiment mission of Taiwan component. Since Dec. 1993, the ISS has already been installed in Chung-Li and started to play an important role of boundary layer observation which is very vital for monitoring the local weather change with detail temperature, pressure, moisture and wind profile observations. From 1987, there are two Doppler weather radars were installed at two major airports, a short illustration about these two operational radars will be summarized. The current status of NEXRAD (Next generation radar) and the possible network around the island will also introduced. From the past research we found the useful data from Doppler radar did provide the kinematic and dynamic structure of the precipitation systems. The digital satellite data acquisition became more convenient recently. Many different algorithm may be applied and developed to get many atmospheric parameters such as sea surface temperature, cloud amount, cloud top temperature, vertical sounding and ozone content etc. The applications to Taiwan area will be illustrated.

This paper is limited to cover all the new instrumentation in Taiwan. However the purpose is to provide an update view of current development and to get more attention to the instrumentation from the meteorological society. Beside the application to the operation and the research, the informations may also be helpful to the future planning of observation experiment.

Key Words : meteorological instrumentation, radar, ISS, satellite.