

## 談即時天氣預報

潘 大 綱

## 一 前 言

近年來電腦的快速進步與發展以及遙感探測上的突飛猛進，已經使得利用其原理來觀測大氣的儀器無論在空間解析度、時間解析度乃至各種探測精確度上均以大幅的提高，因此氣象人員對思考如何利用這些先進的技術，做出更好、更快及更準確的氣象或天氣預報，在這個理念的主導之下，「極短期天氣預報」(Very-short-range forecasting)與「即時天氣預報」(Nowcasting)的雛型也就應運而生了。基本上而言，極短期天氣預報是指時間尺度在 0~3 小時(或 0~12 小時)之內的天氣預報，而即時天氣預報之時間尺度則是由 0~1 小時(或 0~2 小時)之內的天氣預報，就空間尺度來看，這兩種預報的內容與對象均是幾公里~幾百公里的中尺度天氣現象，所以除了時間尺度的考量稍有不同外，其它均大致上是相同的(Mc Ginley, 1986; Browning, 1982; Qrlanski, 1975)。本文雖以即時天氣預報為文，然而實際上討論中亦包含了極短期天氣預報的內容，這是因為除上述之預報時間尺度兩者互異之外，其餘則相同。此外，由於個別的即時天氣預報系統架構可因主、客觀因素上之不同，而有不同的硬體組成，所以有關硬體架構的部份亦未深入提及，然而針對系統設計與規劃上而言，筆者却指出其共通性與必要的考量。

由於即時天氣預報系統中包括了硬、軟體以及預報員如何地使用龐大資料來達成此一“即時預報”的目標，因此本文中首將即時天氣預報的一些概念加以介紹，後續將另外針對同一主題不同方向再做描述，然而基本上而言，遙測技術和通訊的能力在這個主題上扮演著相當重要的角色，另外針對雷達、衛星氣象學、中尺度氣象學上的努力及人材培育等等，都將是決定性地主導了即時天氣預報成功

與否的重要關鍵。

大氣運動的尺度概念自 1960 年代迄今，已廣泛地受到氣象人員的注意與深入的瞭解；雖然不同尺度之間的大氣運動存在著繁密的交互作用，觸發產生天氣之機制與現象亦有差異，然而明顯又急驟且充滿破壞性的天氣現象如雷雨、豪雨、冰雹、龍捲風及各種型式的亂流等，對於高度密集發展又人口集中的城市或一般農、工、商業活動而言，著實地造成了鉅大的傷害與損失；這些劇烈的天氣現象所蘊涵的尺度又正好是氣象人員認識與瞭解較少的中尺度天氣現象。

傳統天氣(實為氣象)預報基本上是根據綜觀尺度高空觀測的大量資料配合地面觀測，收集、分析之後所得，由於數值、動力上不斷的瞭解與進展，使得對於 1~2 天的預報已有相當令人滿意的成果，然而儘管有些作業單位採用了較為細密網格的模式(如 Fine-mesh model)，但是却仍然沒有足夠的解析度、起始場和(或)物理證據(Physical realism)來描述中尺度的天氣系統，因此對於 12 小時以內的區域性(局部性)天氣預報而言，上述的模式並無明顯的大幅改進或突破(Browning 1982)，然而慶幸的是在近四十年來，大量密集的觀測、中尺度實驗與計劃之執行與完成，以及這方面豐碩研究的成果等等，已經廣泛地增進了我們對於中尺度天氣系統的認識與瞭解，再加上各種精密科技之應用與發展，使得履行極短期及即時天氣預報的環境已成熟並得以付諸實行了。

即時天氣預報的名稱(Nowcasting)，早在 1970 年代中期就衍生出來了，當時有一個實驗計劃就採用了此一名稱(Chesapeake Bay Region Nowcasting Experiment)，其主要是將同步衛星資料、雷達資料與其它相關之氣象資料加以整合，及時地提供給地區性的社區當時的天氣狀況，以及有關的天氣資料。前面曾經提過

即時天氣預報與極短期天氣預報的異同，然而就其運作的方式而言，此二者均是將不同型式的各種資料迅速的傳遞、收集之於某處，而後整合來描述當時已經發生的天氣現象與特徵，之後運用各種方法（如錢性外推，或動力法則等等）判斷出未來可能將受到明顯天氣影響的地區，時間以及強度等，而後透過暢通且迅速的通訊網，對當時的人適時地提出預警。1970年代中期由於受到諸多因素的限制當然無法圓滿的達成此一項目標，然而今天的環境却使我們得以完成此項需求。

## 二、即時天氣預報的內容與目標

“經濟效益評估”是現行對於一項計劃的付諸實行之先準備，根據 Murphy 和 Brown (1982) 初步的選擇性評估報告中指出，在建築、能源、交通、大眾安全及一般群眾需求言，經由即時、適時的發布影響各種活動的每年可節省相當龐大的金錢額數，其中比較性的評估結果如表一所示。從而由此亦可歸納出

Activity/hazard	Reference	Region	Event(s)*	Forecast lead time (hours)	Analysis type(s) <sup>b</sup>	Economic values (millions/year)
<b>Agriculture</b>						
Daily planning	Mason (1966)	UK				£20
Scheduling	Bhattacharyya et al. (1975)	US				\$232
Crop spraying	WMO (1968)	US	TS		BOE	\$3.5
	Dancer and Tibbitts (1973)	W. Germany			DM, BOE	\$44.6
	Bussell et al. (1978)	US	P, W		BOE	\$1.0
<b>Harvesting</b>						
Planting	Dancer and Tibbitts (1973)	UK	P	0-12	S, BOE	\$2.8
Frost/heat Protection	Bussell et al. (1978)	US	P.T, DP	1-6	BOE	\$3.5
All	Dancer and Tibbitts (1973)	US	P	0-12	BOE	\$3.1
	Theron et al. (1973)	US	P, W	1-6	BOE	\$23.8
	Dancer and Tibbitts (1973)	US	P	0-12	BOE	\$12.3
<b>Construction</b>						
All	PROFS (1979)	S. Africa	T, W, C, DP	0-12	BOE	\$74.3
	Russo (1966)	US	H, R, Fr, Su, T, DP, W	0-12	BOE	\$1.8
	Bhattacharyya et al. (1975)	US	P, T, W, C, DP	0-12	S	\$500-1,000
	Bussell et al. (1978)	US	R, Sn, II, W, T	0-12	BOE	\$922
<b>Energy</b>						
Electric power production	Mason (1966)	UK	P, T	0-24	BOE	£10
	WMO (1968)	UK	TS		DM	
	WMO (1968)	UK	P	1-6	BOE	
Gas distribution	Mason (1966)	UK	T, DP, C			£0.2
	WMO (1968)	France	T, P			£33
	WMO (1968)	W. Germany	T			\$9
	Bhattacharyya et al. (1975)	Australia	T		BOE	Aus. \$0.1
	Mason (1966)	US	R, T		BOE	\$36
	WMO (1968)	UK	T, TS		BOE	£0.2
	Bhattacharyya et al. (1975)	France	T		EM, BOE	£34
		US	T		BOE	\$3.3
			T		EM	
<b>Transportation</b>						
Highway accidents	Bussell et al. (1978)	UK	P			£0.5
Total aviation	Bhattacharyya et al. (1975)	US	TS			\$30
Airlines	Mason (1966)	US	W, St	1-6	BOE	\$6.5
	WMO (1968)	UK	Si		DM, BOE	£6.5
(crash risk)	WMO (1968)	Australia	W, St		BOE	Aus. \$14
(delays)	WMO (1968)	France	W, St		BOE	\$36
	Bussell et al. (1978)	W. Germany	W		BOE	\$1.8
	PROFS (1979)	UK	TS		BOE	£1
<b>Public safety and general public</b>						
Snow removal	Bhattacharyya et al. (1975)	US	Si	1-6	BOE	\$24.4
Flood	Bhattacharyya et al. (1975)	US	Sn		DM	\$105
Hurricane	Bhattacharyya et al. (1975)	US	Si	1-6	BOE	\$29
Forest fire	Bussell et al. (1978)	UK	P	0-12	S, BOE	£3.8
Wind storm	Bhattacharyya et al. (1975)	US	ILL		BOE	\$2
Recreation (boating)	Bhattacharyya et al. (1975)	US	ILL		BOE	\$0.2
Commuting	PROFS (1979)	Boulder, US	TS	1-6	S	\$7.3
Shopping	Bhattacharyya et al. (1975)	Denver, US	W		S	\$4.6
	PROFS (1979)	Denver, US	R, Sn, II, W, T	1-6	BOE	\$13.3
	PROFS (1979)	Denver, US	R, Sn, II, W, T	2-4	S	\$10.4
	PROFS (1979)	Denver, US	R, Sn, II, W, T	3	S	
	PROFS (1979)	Denver, US	R, Sn, II, W, T	0.5	BOE	
	PROFS (1979)	Denver, US	R, Sn, II, W, T	0.5	S	

\* C = Cloud cover  
 DP = Dew point  
 Fr = Frost  
 H = Hail  
 ILL = Hurricane landfall  
 P = Precipitation  
 R = Rain  
 Sn = Snow  
 Si = Storm  
 Su = Sunshine  
 T = Temperature  
 TS = Thunderstorm  
 W = Wind  
<sup>a</sup> BOE = Back-of-the-envelope calculation; DM = Decision model; EM = Economic model; S = Survey.  
<sup>b</sup> Region within 100 km of Denver. <sup>c</sup> Chicago, Denver, Los Angeles, and New York airports.

需求的預報內容在於(一)氣象各種參數(如溫度、濕度等)或(和)天氣現象的預報；(二)相對於上述氣象參數之變化或天氣現象之種類，以及其所影響波及的範圍與區域及(三)時間上的延續；(四)如何利用最快速的方式，針對不同需求的對象，提供完善且令其滿意的預報內容。

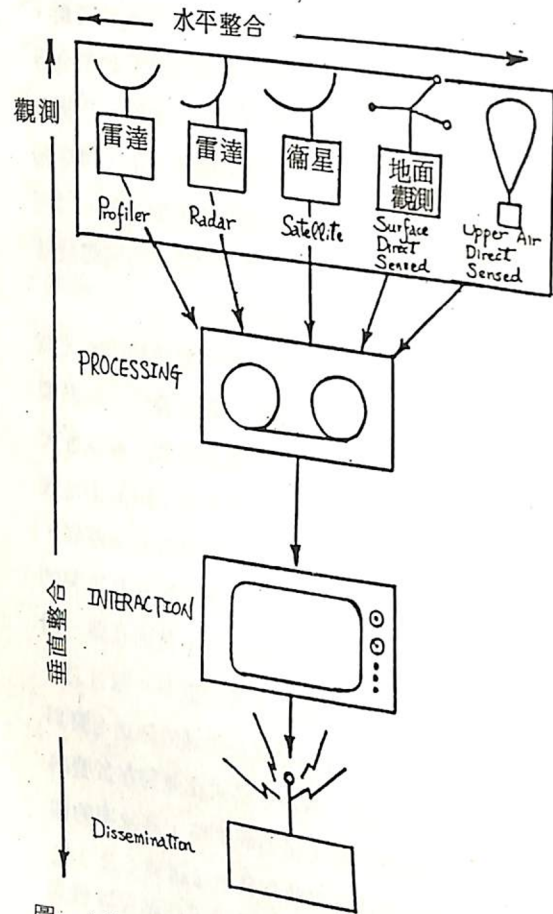
雖然即時天氣預報在現階段而言已充分地滿足了實施的必要與必然性，然而成功的即時天氣預報(以下討論均含極短期天氣預報)亦要有其主觀的條件方可達成，根據 Doswell III (1986) 的描述，細密正確的各種型式之觀測資料，高效率的電腦及通訊網以及從事者對於大氣科學(尤其中尺度氣象學)的足夠認識與瞭解等，是不可或缺的關鍵；換言之，人在即時天氣預報中所扮演的角色比起傳統天氣預報中來得更加吃重，因為他在取決於是否要發布一項嚴重天氣警告到實際現象發生之間，僅僅只有有限的時間，然而在這有限的時間內却需要考量的資料比起以往大大地增多了，因此，一個稱職的即時天氣預報員除了需要知道如何有效的整合各種資料，透過電腦軟、硬體的協助，仔細地描述當時發生的天氣現象之外，還要透過他對天氣系統(尤其中尺度天氣系統)的瞭解，來配合他所熟悉的概念模式，而後對於此一天氣系統未來是否發展，消弱乃至於有利觸發其它地區劇烈天氣產生的可能性加以預報，而後做出何時、何地，如何與強度上的預報，透過快捷的通訊網立即提供予使用者。由此可見，氣象預報員在這個階段中所面臨的將是一項極大的考驗與挑戰。

## 三、即時天氣預報的系統需求

首先必須指出的是，在我們談到即時天氣預報時，並非就意味著捨去了傳統觀測及預報的實用性，事實上從尺度觀念上來看，劇烈的中尺度天氣現象產生，必然存在於有利其發生的環境場之中，否則也就不會“劇烈”了，換言之，綜觀尺度的環境條件提供了不同程度的不穩定，而要使天氣現象劇烈又明顯，則需要有利某種得以釋放不穩定的機制發生或移入，前者即由綜觀尺度條件來支持，後者則

是即時天氣預報員運用其仔細觀察，敏銳的判斷，依據各種各樣的即時天氣預報系統產品(如整合各種資料顯示於彩色螢幕上的成品)，追蹤、分析而來。因此，在已存在的綜觀環境條件之下，即時預報員此時應注意(一)何處已有明顯的天氣現象，(二)判斷其未來移動發展及延續時間，(三)是否有利觸發其它地區產生明顯的天氣現象等等。

由上述可知，各種形式的資料都將是即時天氣預報資料的來源，如衛星資料、雷達資料、地面觀測報告；高空天氣圖型式，數值預報圖，區域性天氣警告和(或)颶風報告及警報等等；由於上述種種資料的型式或取樣大氣的方法與原理互有差異，所以將不同資料加以整合則成為十分繁複且重要的步驟，致於如何完成此處不加細敘，然而在這一過程中所使用的知識與技術却非常的重要。總言之，如是資料收集、整合過程並且快速的傳送至資料處理中心，而後偵錯、處理、格式化並儲存於資料庫中，此一步驟仰賴快速的通訊網路，高效率的電腦來達成；在美國通常都使用衛星通訊或(及)光纖網路來完成。此時各地的區域性工作站可以透過電腦網路聯綫向資料庫索取不同來源及型式的資料，經由當地的電腦軟、硬體配合，預報員任意地可將他所認為重要的資訊重疊地顯示在同一彩色螢幕上，接著即是預報員分析、判斷及預報的過程，最後做出的預報可透過各種多樣化的方式傳遞到使用者手中。這種集中計算、處理和資料庫建立以及分散式擷取，顯示的架構，不僅可以降低電腦的負載，並可善加利用目前快捷通訊網建立的優點，(未來將使用的光纖網路)，在人員與經費的考量下是為較佳且可行的方式(Mac Donald, 1988; Mac Donald, 1985; Bodin, S. et al. 1979; Browning, K.A., 1980; Hasler, A.F. et al., 1988)。完整的資料收集過程稱之為即時天氣預報系統的水平整合，而全程的資料收集到預報成品至使用者，則稱之為垂直整合，一個完整系統(total system)即主要以此二者所構成如圖一所示(Mac Donald, 1988)，此一完整系統中又蘊涵了硬、軟體及人員的三個



圖一：即時預報系統整合示意圖。

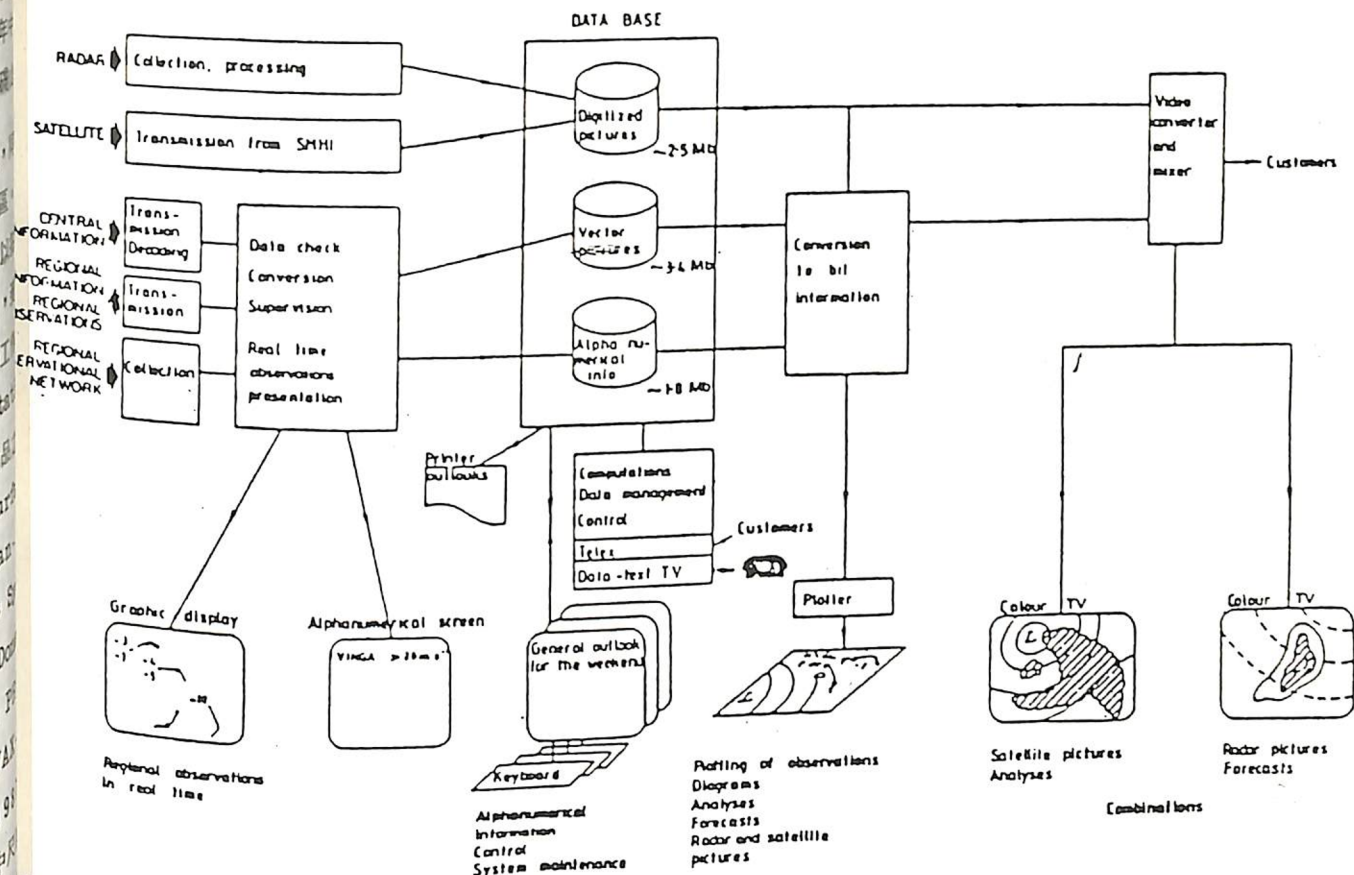
重要要素。  
 綜合來說，完整系統的成功除了硬體的配置得當外，更需要有充足的軟體來支持和受過良好訓練的人來運作，此三者對於即時預報系統的成敗有決定性的影響。

### 四、現行即時天氣預報系統

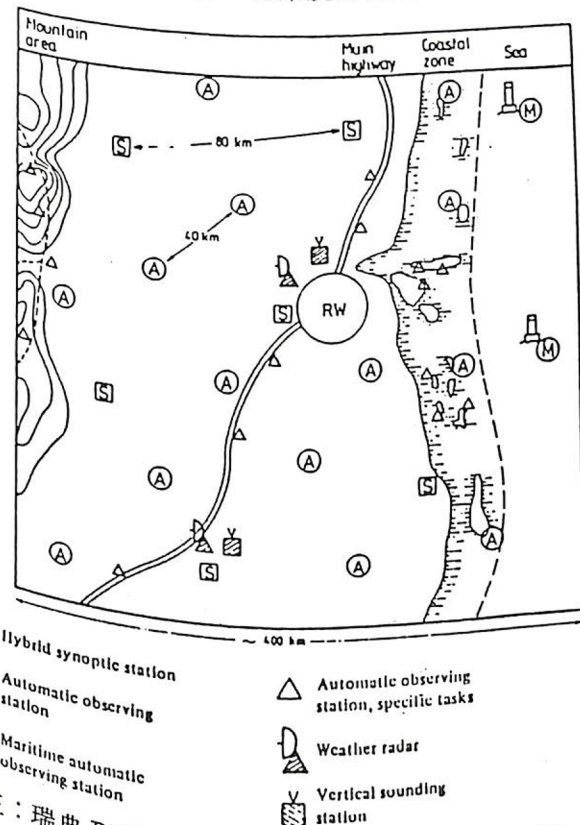
自1980年起，美國國家海洋暨大氣總署（NOAA）即開始一項名為PROFS（Program for Regional Observing and Forecasting Services）的計劃，此計劃之目的在利用最先進的各種觀測及通訊技術，高解析度的觀測資料，高效率的電腦等，準確適時地將影響民生的各種天氣預報，透過通訊管道提供予民眾，而其預報的內容即以0~2小時與24小時之內的中尺度系統為主，並希望經由此一方式整合各種不同型式的氣象資料，運用高科技技術將氣象預報作業帶

入另一個新的里程碑。在1980~1983四年間，PROFS主要的階段目標是對於影響美國落基山（Rocky Mountain）東側的雷雨做研究，也提供雷雨或惡烈天氣警告給當地附近的社區。1983年之後，PROFS將其目標與方向加以擴展及延伸，並增加其在即時預報服務中的項目。1984年止，除了PROFS自己發展建立的POWS（PROFS Operational Work Station）可以使用其所有資料庫中的資料及相關成果，使用者亦可經由AFOS（Automated Surface Observing System）或McIDAS（MacDonald computer Interactive Data Access System）使用相同或類似於POWS的資料（MacDonald, 1985），在1986的會計年度報告中，PROFS更不斷地在各方面提升與改進，如裝置了VAX在VAXcluster上（MacDonald, 1986）。綜合而言，PROFS的成就無論是在於中尺度氣象系統理論上的研究，抑或即時預報作業上，都給氣象人員莫大的鼓舞。

第二個介紹的是瑞典的PROMIS-90（Program for an Operational Meteorological Information System），基本系統亦是採取集中計算處理和分散顯示，此與PROFS相同（Bodin, 1986），對於觀測、資料處理、地區工作站RW（Regional Weather office）與中央工作站CW（Central Weather office）職掌均有十分詳盡的規劃，圖二是其中一個工作站RW所涵蓋的區域，在此區域中總計有15個綜合地面測站、1~2個探空測站、2個氣象雷達，高解析度的TIROS-N衛星資料，中央工作站CW傳輸來的同步METEOSAT衛星資料，再加上其它各種型式的資料來源等，圖三為RW工作的系統架構圖，由此可看出如此彈性考量是相當具有彈性的。  
 在我們北方的日本，於1979年把當時

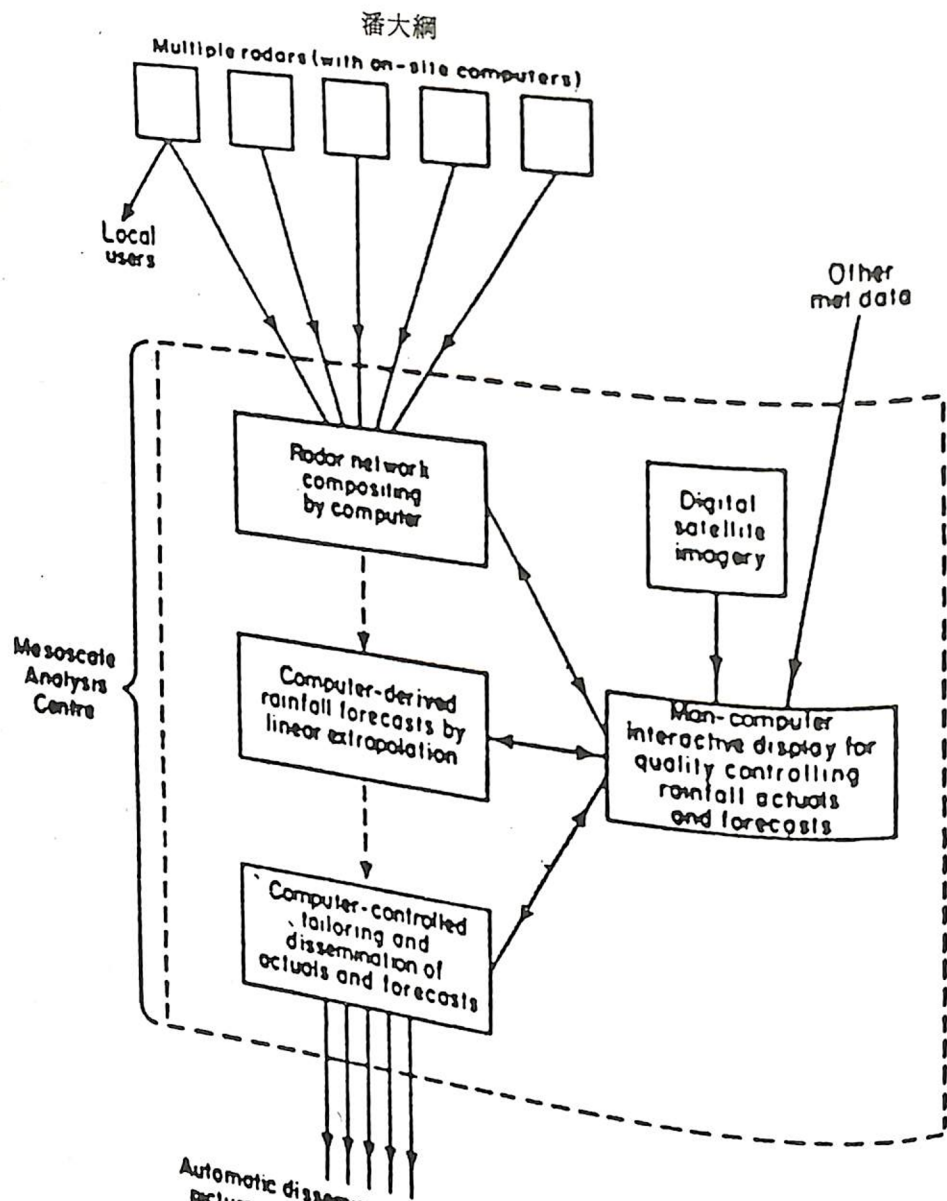


圖二：瑞典 PROMIS-90 系統架構圖。



圖三：瑞典 PROMIS-90 即時天氣預報地區性工作站資料來源及種類示意圖。

地面觀測網與氣象雷達整合，期望以較為整合性的資料來掌握造成日本每年重大損失的豪雨及中尺度天氣系統動態，並對其後續移動方向與地區發出適時的警告，這一個系統稱之為AME DAS（Automated Meteorological Data Acquisition System），此系統包含有以20個氣象雷達聯合而成的觀測網，1317個雨量測站，838個地面測站以觀測地面風、溫度與日照等，衛星資料則是來自於GMS（Geostationary Meteorological Satellite System）；在此系統中所有觀測資料之收集與傳送完全自動化，自觀測完成後20分鐘後即開始傳送，由電腦控制透過數據網路送到60個預報中心，NHK（Japanese Broadcasting Corporation），以及就氣象服務為宗旨的日本天氣協會（Japan Weather Association）。一般而言，此一系統全天候作業，自1979年以來運作的相當順暢（Tatehira, R. et al., 1982）。



圖四：英國雷達、衛星整合即時天氣預報示意圖。

有關於雷達衛星整合後用於即時天氣預報最典型的例子，則首推英國目前的系統，由於對於中尺度系統觀測最有利的工具以雷達及衛星兩者最佳；雖然雷達可以提供比衛星較好的解析度，然而却不如衛星觀測般地可以涵蓋較為廣泛的區域，因此良好的雷達觀測網（傳統及都普勒雷達）再加上衛星資料的配合，可以彼此互補而使得功能大幅改善。圖四是英國應用雷達與衛星的即時預報系統架構圖，它的組成包含了多組雷達，網路控制電腦，衛星接收站等。使用這些工具所觀測至的中尺度系統，

可以經由電腦處理、分析，並對影像綫性外推做成預報、人機交互作用的影像顯示及服務網路系統等等。事實上，由於遙測技術是本諸科學的理論發展而來，感應探測的參數也就不具系統觀測的內容，所以相當程度的瞭解雷達與衛星的性質和限制，才能合理地描述當時所發生天氣預報中的中尺度系統，而這又是即時天氣預報中重要的一部份，所以除了要有良好的硬體設備外，具有有良好的雷達、衛星氣象學基礎的預報員，

成爲系統成功的基本要求了。(Browning and Collier, 1982)

除了上述的幾種即時預報系統之外，目前亦有許多氣象資料處理系統具備了或已經執行了即時天氣預報的功能，諸如 McIDAS, CSIS (Centralized Storm Information System), AOIPS (Atmospheric and Oceanographic Information Processing System), NEDS (Naval Environmental Display Station), ADVISAR (All Digital Video Imaging System for Atmospheric Research) 等等 (Schlatter, 1986)。這些系統的實現已經使得氣象預報技術與方法邁入了另一個更光明的境界。

### 五小 結

「預報」是氣象人員的責任，「正確的預報」和「適時的預警」是防危避難的基礎，然而快速的預報成品傳輸到使用者，在即時天氣預報的最後關鍵中決定性地影響到其成敗，由是觀之，在即時天氣預報中，任何一個環節都不可偏廢，否則即無法達成其功效。在今日我們面對一個將來要參與的即時預報作業情況之下，惟有儘早擬定方向，廣泛研究各種技術與方法，提昇專業水準，才能昂首闊步地走向這一氣象上新的里程碑。

### 參 考 文 獻

1. Bodin, S., E. Liljar and L. Moen, 1979: The Future Weather Service at the Swedish Meteorological Hydrological Institute-PROMIS 90. SMHI (Personal Communication)
2. Browning, K.A., 1980: Radar as Part of an Integrated System for Measuring and Forecasting Rain in the UK: Progress and Plans. Weather 35, 94-104

3. Browning, K.A., 1982: Nowcasting. Academic Press, New York, 256pp
4. Browning, K.A. and C. G. Collier, 1982: An Integrated Radar-satellite Nowcasting System in the UK. Nowcasting Academic Press, New York, 48-62
5. Doswell III, C. A., 1986: Short-Range Forecasting. Mesoscale Meteorology and Forecasting, AMS, Boston. 689-719
6. Hasler, A.F. and M.L. desJardins, 1988: AOIPS/2: An Interactive System to Process, Analyze, And Display Meteorological Data Sets for Nowcasting Proceedings, XXVI COSPAR, Advance in Space Research, Pergamon Jour. Oxford, England.
7. MacDonald, A. E., 1988: PROFS: Status and Plans. CWB-R.O.C. training hand-out.
8. MacDonald, A.E., 1985: Design Considerations of Operational Meteorological System: A Perspective Based upon the PROFS Experience. Preprints, International Conference on Interactive Information and Processing System for Meteorology, Oceanography and Hydrology, Jan. 7-11, Los Angeles, CA. AMS. 16-22
9. MacDonald, A.E., 1987: Annual Report PROFS FY 1986, Denver Awips-90 Risk Reduction and Requirements Evaluation DAR<sup>3</sup>E, NOAA/ERL/PROFS, NOAA, 29pp

78年 2月

潘大綱

第11

10. Mc Ginley, J., 1986: Nowcasting Mesoscale Phenomena, Mesoscale Meteorology and Forecasting, AMS, Boston, 657-688

11. Murphy, A.H. and B.G. Brown, 1982: User Requirements for very-short-range Weather Forecasts, Nowcasting, Academic Press. New York, 3-15

12. Olanski, I., 1975: A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric

Processes. BAMS., AMS. 56, 527-530

13. Schlatter T.W., 1986: The Use of Computer for the Display of Meteorological Information, Mesoscale Meteorology and Forecasting, AMS, Boston, 752-755

14. Tatehira R., M. Hitsuma and Y. Makino, 1982: The Mesoscale Observational Network in Japan, Nowcasting, Academic Press. New York. 37-46