

NEXRAD 在即時預報的應用： 雷雨生成與發展的觀測和預報

鄭哲聖

中正理工學院

摘 要

介紹 NEXRAD 雷達觀測邊界層輻合線的技術 (Wilson et al 1993)，並進而預測中小尺度雷雨的生成和發展，期盼能有效維護飛航安全。

一、前言

在飛航安全倍受重視的今天，安全舒適的航空交通，必須依靠飛航氣象人員充分掌握雷雨等危險天氣的動向和發展，才能賴以維持。只因爲許多飛安事件的發生，雖然並非直接導因於氣象因素；但多半是一連串問題的累積（包含人爲和機械因素）附帶氣象因子的伴隨，終究演成致命的危機。例如華航大園空難；如果當時飛機不是在大霧的狀況下進場，或許短暫的機械或儀表故障還可藉由目視和經驗的修正而化險爲夷；無奈天不從人願，硬生生的奪走了數百條人命，令人遺憾！

因此在天氣改造尙不成熟之際，氣象人員只能儘可能利用各種觀測儀器來守視天氣的變化，期盼及早預測出危險天氣空域的正確位置和時間；俾使航機能爭取時效而趨吉避兇。

二、NEXRAD 簡介

NEXRAD (WSR - 88D) (如圖 1) 是美國於西元 1988 年所發展的下一代氣象都卜勒雷達，期盼逐漸換裝 WSR - 57 & WSR - 74 傳統氣象雷達。其最大特點是擁有高靈敏度的接收機和快速的處理器，使其天線能快速掃描並接收到高解析度的資料。其次就是可製作許

多不同的產品，並將降水回波類分爲更多層次；以下介紹其偵知輻合線的特殊功能。

三、輻合線的偵測

NEXRAD 的高靈敏度接收機能在溫暖的晴天偵測出邊界層的輻合線 (Boundary - layer convergence lines) 以及水平滾動前進的對流 (Horizontal - Roll Convection) (Wilson et al . 1980; Wilson and Schreiber 1986; Christian



圖 1 氣象局五分山 WSR - 88D NEXRAD

and Wakimoto 1989)，而晴空雷達回波 (Clear - air echo) 生成則被歸因於大片的昆蟲、鳥類，以及由溫度和溼度不連續所引發強烈折射指數梯度等特別的散射所造成 (Hardy et al. 1966; Doviak and Zrnicek 1984; Vaughn 1985; Mueller and Larkin 1985; Wilson and Schreiber 1986)。由圖 1(a)雷達回波可以發現陣風面 (20 - 25 dbz) 和水平滾動對流 (10 dbz) 相交時將會引發對流雲的發展 (1(b), 1(c), 1(d))。

四、即時預報的方法原則

即時預報主要使用雷達資料和目視雲層觀測，由於監視積雲的變化對評估大氣穩定度的改變有很大的幫助，因此積雲的發展若伴隨了水平滾動和固定界面，並且沿著界面而移動，那將會是風暴生成的良好指標，而且是邊界層潮濕層的間接證據 (Mueller et al. 1993)。因此即時預報指標便類分為以下四種 (詳如圖 2)，茲說明如下：

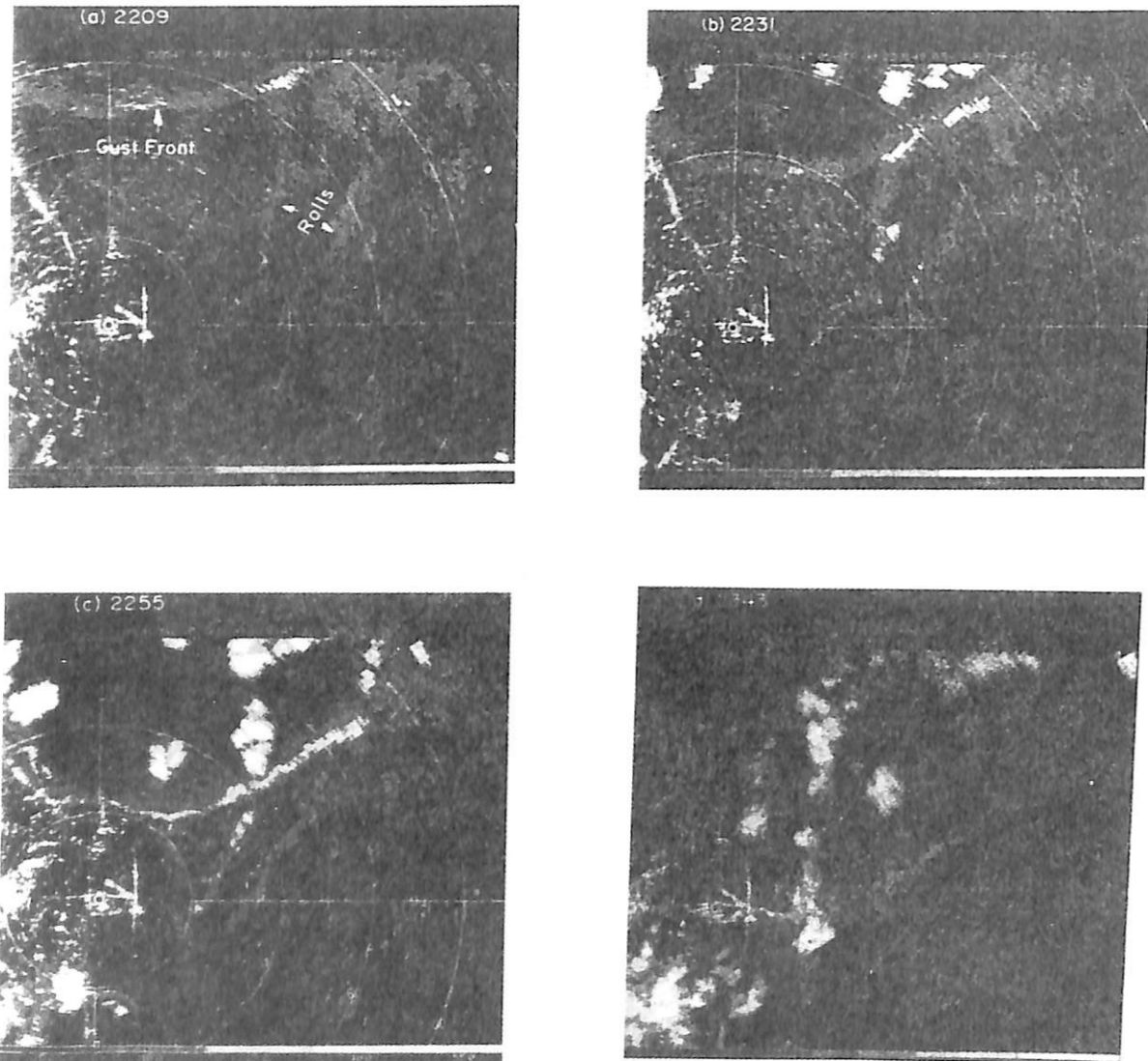


圖 1(a)(b)(c)(d) 載自 Wilson et al. 1992: Nowcast of thunderstorm initiation and evolution, Amer. Metero. Soc..

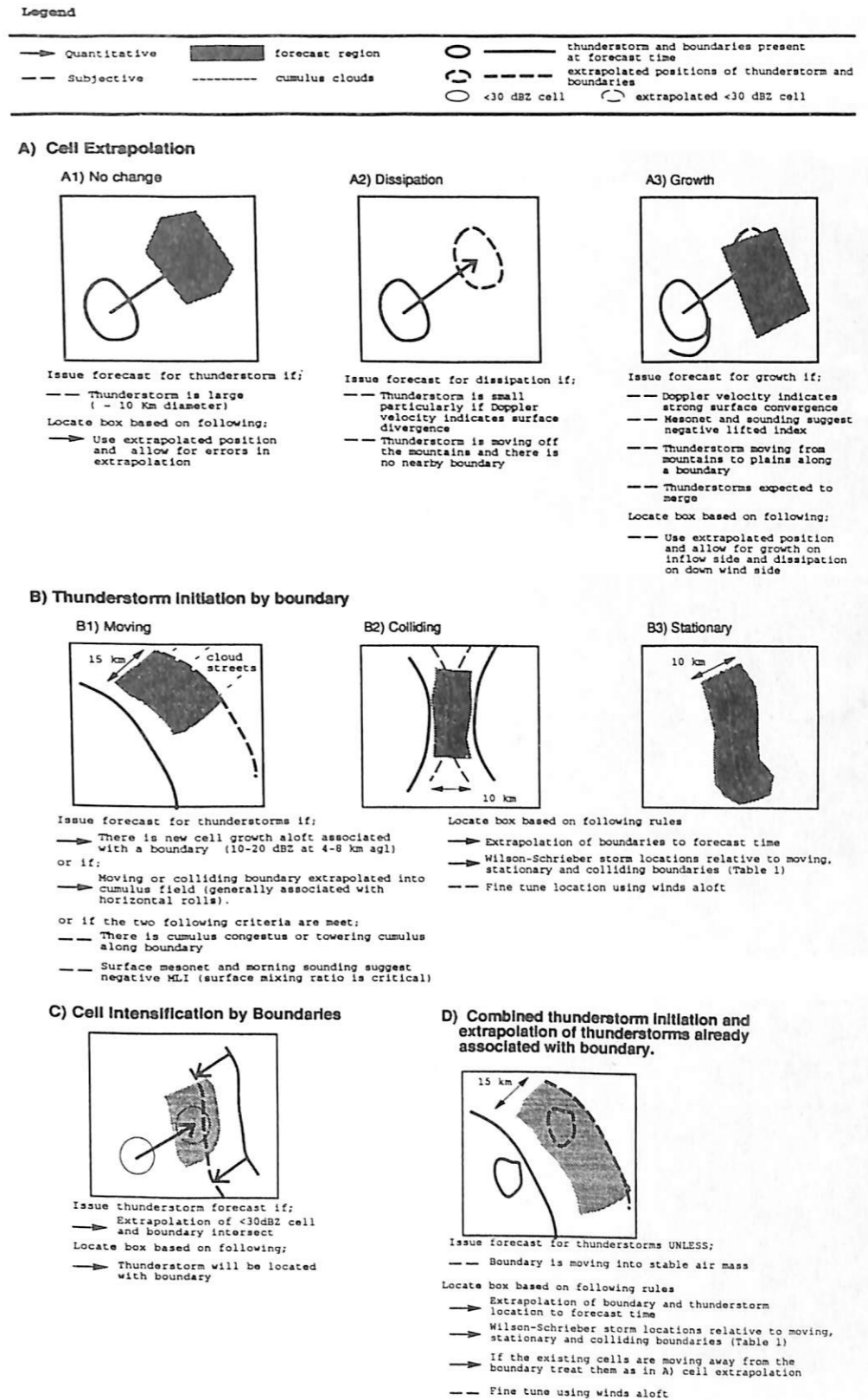


圖 2(a)(b)(c)(d) 載自 Wilson et al. 1992: Nowcast of thunderstorm initiation and evolution, Amer. Metero. Soc..

(一)細胞外延法：

1.當直徑 10km 的雷雨胞大小不變時，則依據其移動速度外延之後發佈雷雨警告。

2.直徑較小的雷雨胞而回波速度場同時顯示輻散，甚或細胞由山區移出並且無界面在附近伴隨（如圖 3），可預測雷雨胞即將消散。

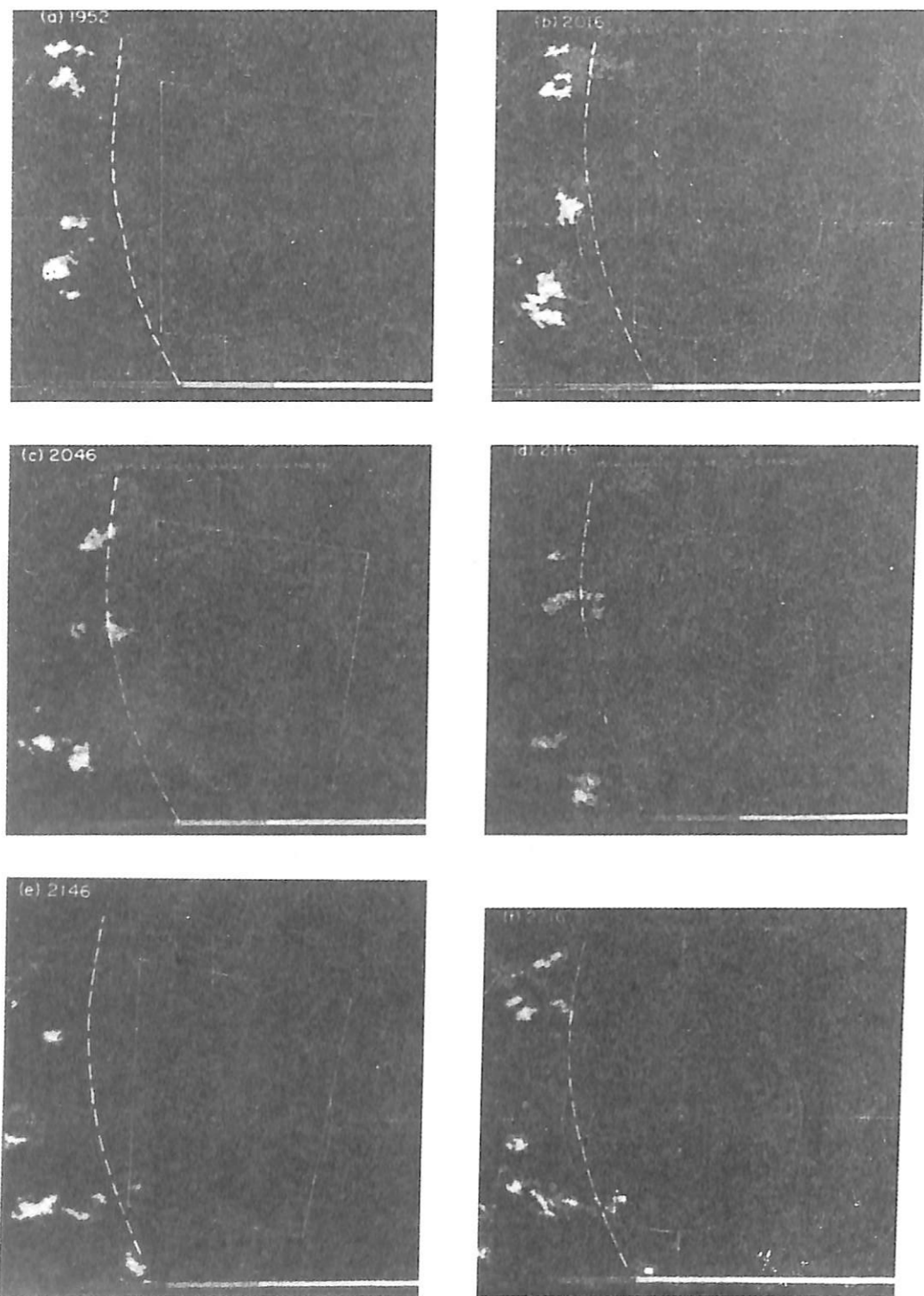


圖 3 (a)(b)(c)(d)(e)(f) 載自 Wilson et al. 1992: Nowcast of thunderstorm initiation and evolution, Amer. Metero. Soc..

3.當回波速度場顯示地面有強輻合，中尺度測站及探空資料顯示負的舉升指數，或是雷雨胞由山區沿界面移出甚或合併（如圖 4），則可依外延法預測雷雨細胞在內流處增強。

(二)界面引發雷雨的生成：

1.移動界面：

當界面通過積雲簇後 10 - 40 分鐘內，在界面後 0 - 15 公里處將形成雷雨胞（如圖 5）

◦ 由 Mueller et al. (1993) 相信在邊界層水平尺度幾公里的溫溼度變化將伴隨對流滾動 (convective rolls) 與中尺度現象 (meso - β)

◦ 而在靜力不穩定的環境下雷雨的形成與否和

邊界層水汽厚度有著微妙的關係。如果界面移入塔狀積雲區，則有 90 % 以上的機會發展雷雨（如圖 6）。

2.碰撞界面：

當兩道界面碰撞之後 15 - 30 分鐘內在 5 km 範圍之內生成雷雨；由於界面碰撞將產生強的上升氣流，再配合積雲簇及不穩定條件，必然易生成雷雨風暴。

3.不動的界面：

雷雨胞將在界面 10km 範圍內生成，但是產生時間無法鎖定，只能隨時監視衛星資料或利用雷達掃描高仰角鎖定最先出現的降水回波

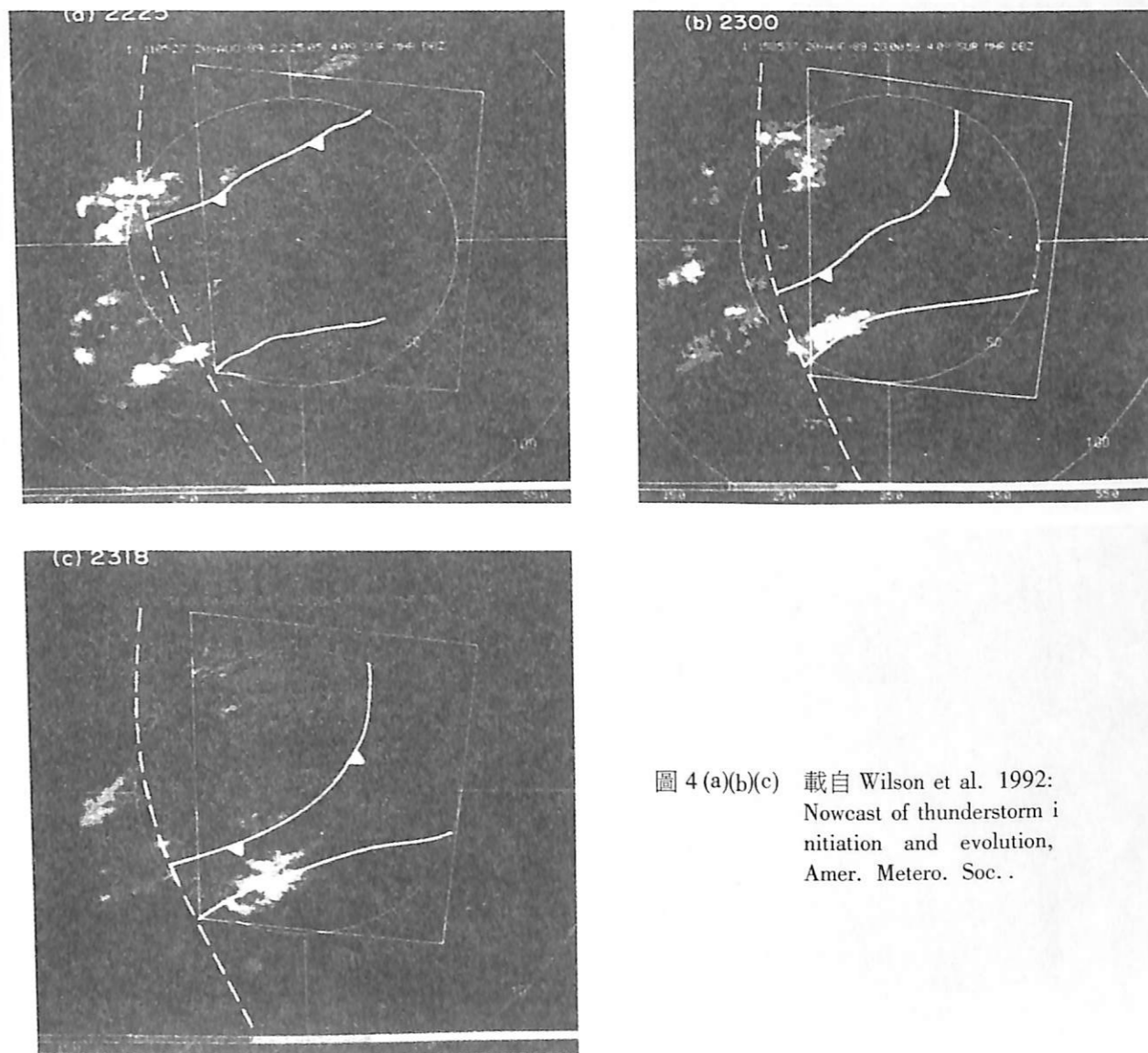


圖 4 (a)(b)(c) 載自 Wilson et al. 1992: Nowcast of thunderstorm initiation and evolution, Amer. Metero. Soc..

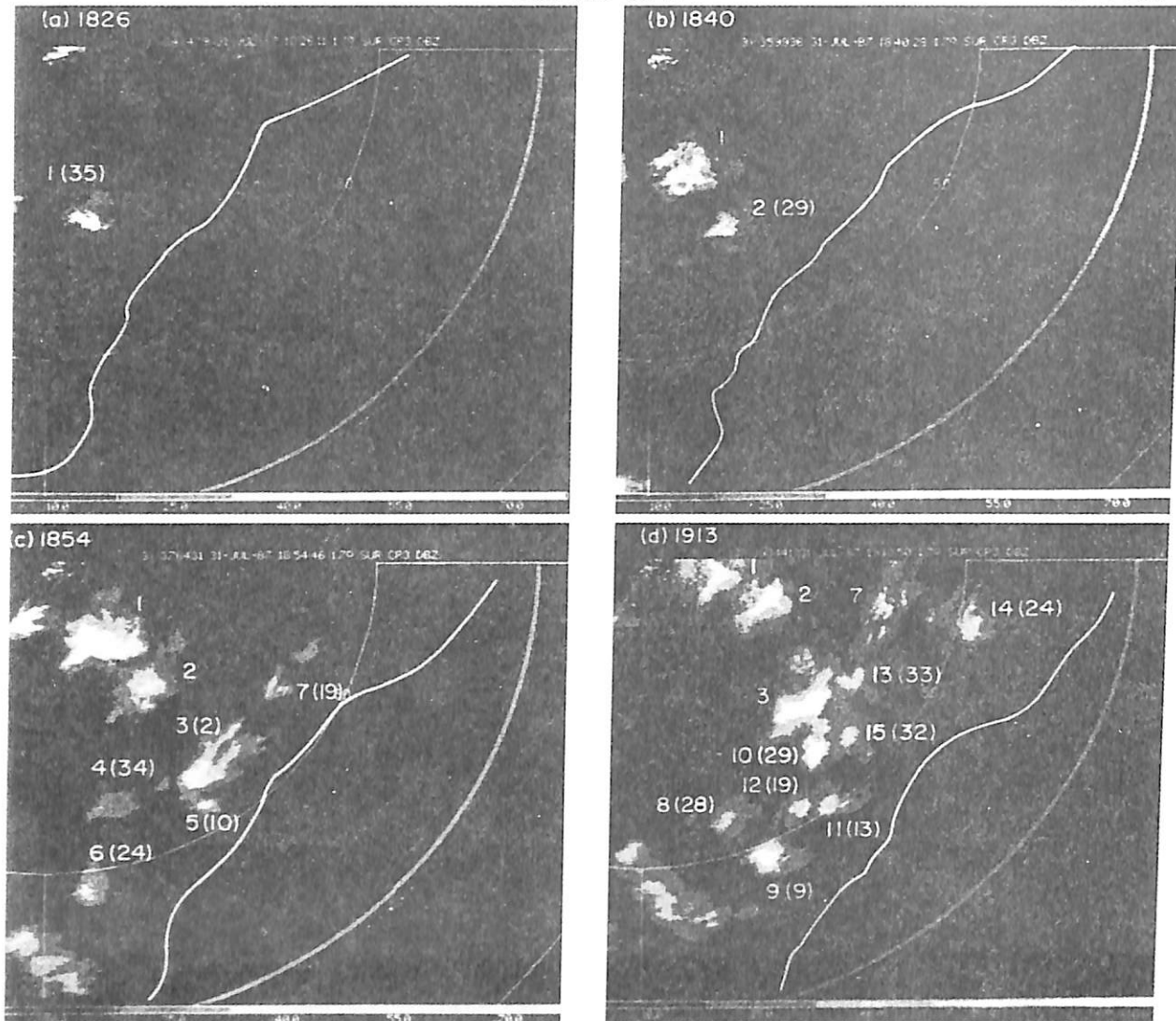


圖 5(a)(b)(c)(d) 載自 Wilson et al. 1992: Nowcast of thunderstorm initiation and evolution, Amer. Metero. Soc. .

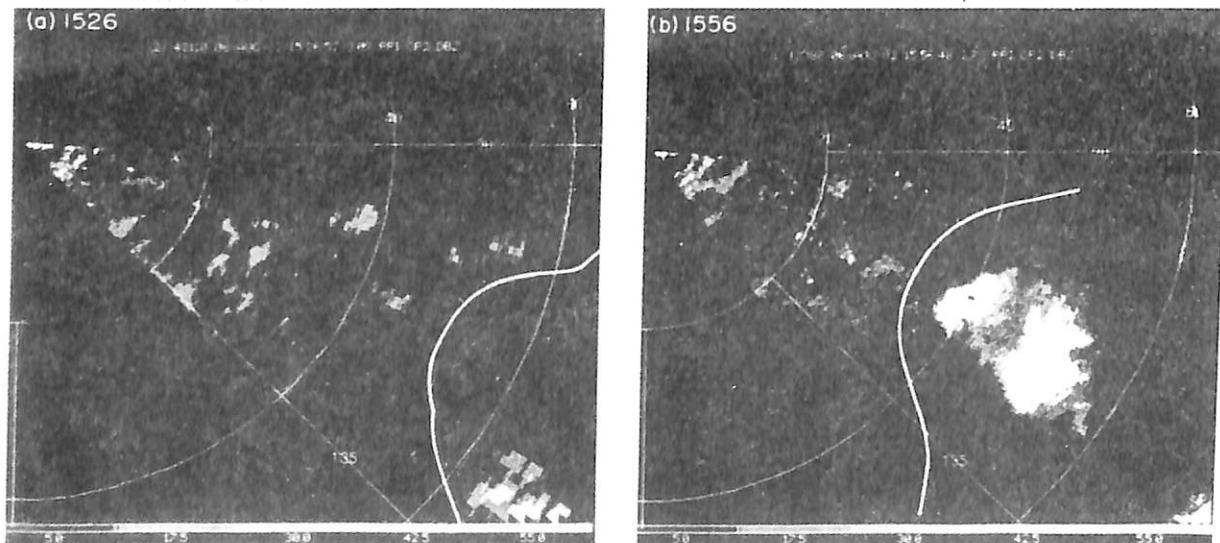


圖 6(a)(b) 載自 Wilson et al. 1992: Nowcast of thunderstorm initiation and evolution, Amer. Metero. Soc. .

；再瞭解環境風場的變化以預測雷雨的動向。

(三)細胞由界面強化：

回波強度低於 30dbz 的弱回波將移入輻合線之際，則可預測其強度將增強至 30dbz 以上；而即時預報需守視雷達高仰角的弱回波。

(四)外延法和雷雨生成的關係：

如果雷雨已由界面引發而生成，只要界面和雷雨胞不移入穩定的環境中，而雷雨胞能維持在界面之後 15km 以內的位置；不為其他因素所分離，則可預測將持續發展和生成。

五、NEXRAD 應用在即時預報

在西元 1989 和 1990 的夏季，預報人員利用 NEXRAD 的先導型雷達 (MHR) 預測雷雨生成和發展；1989 年是以回波 >30dbz 為生成的基準，但是 1990 年是以回波 >40dbz 為生成的基準，原因在於飛行員反映 40dbz 較 30dbz 更接近危險天氣的程度。

預報區是以美國丹佛市為中心 8000 平方公里的範圍區域 (如圖 7)，每間隔 20min (

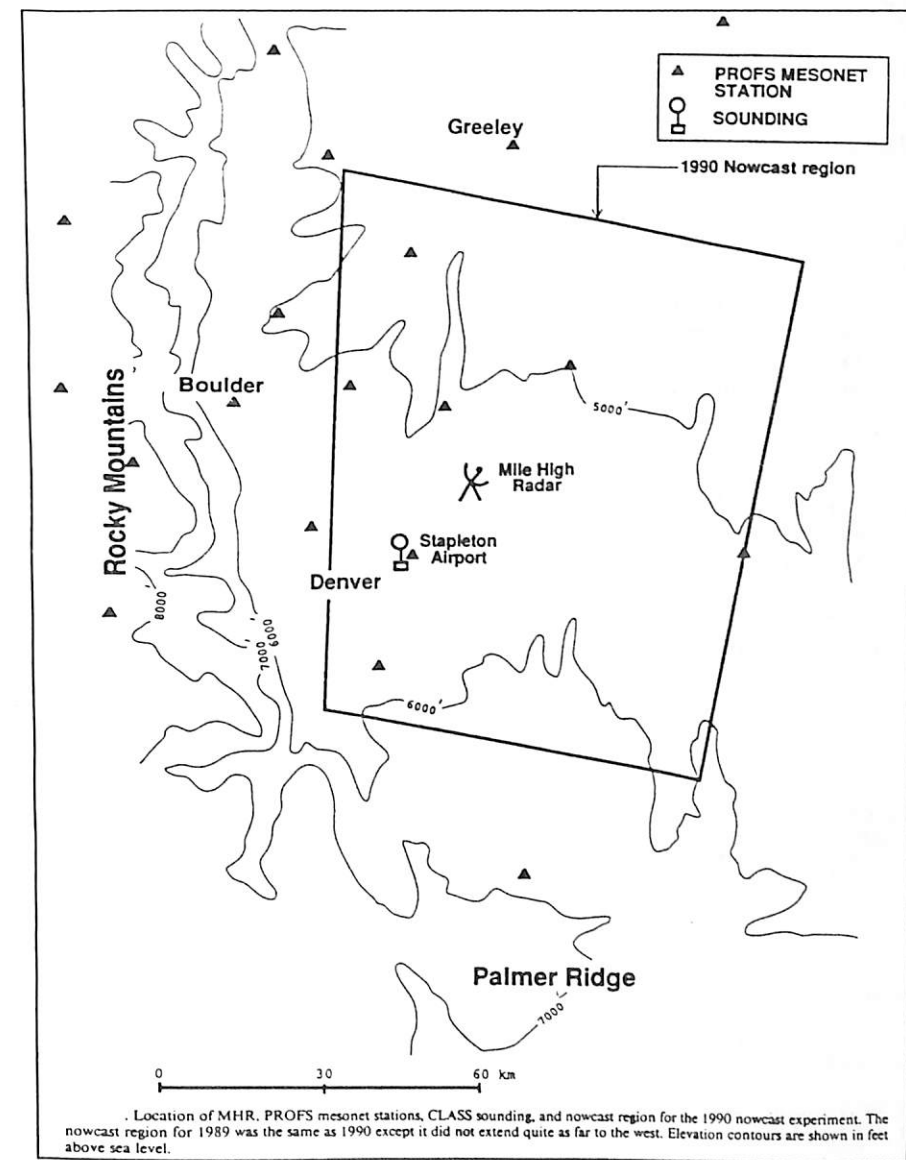


圖 7 載自 Wilson et al. 1992: Nowcast of thunderstorm initiation and evolution, Amer. Metero. Soc. .

1989) 、30min (1990) 做一次預報，並以 (5km × 5km) 的正方形區域內出現大於 (1 km × 1km) 的 30dbz (1989) 、40dbz (1990) 以上的回波為雷雨基準 (實驗結果統計

如表 1 、 2 、 3) 。

六、未來展望

此結果可應用在亞熱帶、熱帶或美國東南

TABLE 1. Summary of Wilson and Schreiber (1986) results as applied to thunderstorm nowcasting. Boundaries which meet with intersection angles < 30° are defined as collisions; otherwise as intersections.

	Boundary categories			
	Stationary	Moving	Colliding	Intersecting
Percent initiate storms (number of boundaries)	60 (42)	65 (124)	63 (19)	54 (22)
Location of storms relative to boundary (km)	0-10	0-15 behind	0-5	0-5
When storms form relative to boundary	n/a	10-40 min after passage	15-30 min after collision	15-30 min after intersection

表 1 載自 Wilson et al. 1992: Nowcast of thunderstorm initiation and evolution, Amer. Metero. Soc. .

TABLE 2. 1989 and 1990 forecast results. "Correct" refers to the percent of polygons that were observed to contain at least 1 km² of thunderstorm echo. "Average coverage" refers to the average amount of thunderstorm echo within the polygon.

	1989	1990
Number of boxes	155	160
Median box size (km ²)	209	190
Correct (%)	61	50
Avg. coverage (%)	29	15

表 2 載自 Wilson et al. 1992: Nowcast of thunderstorm initiation and evolution, Amer. Metero. Soc. .

TABLE 3. Statistics on verification of nowcast polygons for each of the forecast scenarios (described in the text and Fig. 5). The "% verify" indicates the percent of polygons that correctly forecast thunderstorm echo.

Forecast scenario	1989		1990	
	# cases	% verify	# cases	% verify
A2. Thunderstorm extrapolation	72	68	63	51
A3. Thunderstorm extrapolation with echo growth	26	60	31	55
B. Thunderstorm initiation by boundary	26	50	30	27
C. Less than 30*-dBZ cell intensifies to thunderstorm as it moves over boundary	12	25	4	25
D. Combined thunderstorm initiation and extrapolation of thunderstorms already associated with boundary	21	81	31	71

表 3 載自 Wilson et al. 1992: Nowcast of thunderstorm initiation and evolution, Amer. Metero. Soc. .

部地區等地區的風暴預測 (由於上述地區具有典型的微弱綜觀環境及引發短生命期的雷雨條件) ; 使用高靈敏度的下一代雷達技術不僅可以守視邊界層輻合線的動態與雷雨風暴的互動性，進而能提高即時預測準確度。無論如何，以現今的科技能力，要準確預報小尺度風暴的出現時間和位置，以及其發展狀況，仍有其困難性存在。終其原因仍不外乎是對雷雨風暴的成因與變因的認知不足，以及對邊界層熱力學和積雲物理的特性瞭解不夠所導致，因而造成預報員預測的準確度不足。因此未來努力的空間尚有待氣象學家針對以下幾點來逐步加強：

(一)運用數值模擬與密集觀測來增加對風暴特性的研究，此外統計分析研究亦可增進對細胞的大小與強度和其生命期的關係的了解。

(二)以目前的觀測技術，對邊界層的詳細的溫度、濕度及風場變化，似乎仍達不到守視的標準，因此只有增加如下一代雷達高靈敏度的回波觀測解析度，期能隨時捕捉 - 10 dbz 以下的回波及雲層變化，掌握積雲發展的先機，並適時發出即時預報。

(三)改善自動預報演算技術，以使預報人員能有更多時間判斷回波的物理特性和型式，提供較好的預報資料品質，再利用自動追蹤判定回波和界面位置的演算技術，顯示出外延預測位置和速度，進而自動判斷其消長情形，如此才能節省預報人員人工研判的時間，爭取時效，做好即時預報工作。

七、參考文獻

1. Wilson, J. W. and W. E. Schreibe, 1986: Initiation of convective storms radar - observed boundary layer con - vergent lines. Mon. Wea. Rev. 114, 2516 - 2536.
2. Hardy, K. R. D. Atlas and K. M. Glover, 1966: Multi - wavelength backscatter from the clear atmosphere. J. Atmos Sci. 36, 1077 - 1091.

091.

3. Mueller, E. A. and R. P. Larkin, 1985: Insects observed using dual - polarization radar. J. Atmos. Ocean. Technol. 2, 49 - 54.
4. Mueller, C. K. J. W. Wilson, and N. Andrew Crook, 1992: The utility of sounding and mesonet data to nowcast thunderstorm initiation. Weather and Forecast, Vol. 8 No. 1, March 1993 Amer. Metero. Soc.
5. Wilson J. W. and C. K. Mueller, 1992: Nowcast of thunderstorm initiation and evolution. Weather and Forecast, Vol. 8 No. 1, March 1993 Amer. Metero. Soc.
6. Wilson, J. W. , R. E. Carbone, H. Baynton , and R. J. Serafin, 1980: Operational application of meteorological Doppler radar. Bull. Amer. Meteror. Soc. 61, 1154 - 1168.