

天空的眼淚知多少

曾吉暉

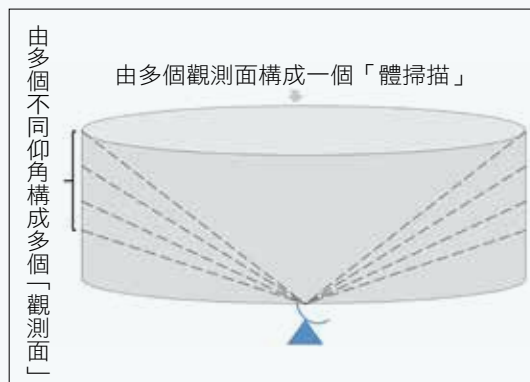
如果可以知道哪個地方正在下很大的雨，就可以避開許多危險。而「哪個地方正在下多大的雨」是許多人想問的問題，也是氣象科學家努力探索想回答的。

文學作品或歌曲中，常形容下雨是天空在掉眼淚。下雨除了是文藝上的一種特別意境外，在現實生活中，也是水資源循環的一個重要歷程，下多了或下少了都會有明顯的影響，甚至造成災害。如果可以知道哪個地方正在下很大的雨，就可以避開許多危險。而「哪個地方正在下多大的雨」是許多人想問的問題，也是氣象科學家努力探索想回答的。

氣象雷達的運用

在尚未有雷達的年代，要知道降雨的詳細資訊，只能靠地面雨量站的觀測。但在人們活動較少，甚至無人活動的區域，就不會有雨量站，因此其分布不均，使得人們對降雨資訊的掌握常僅是片面的。二次大戰期間，雷達的應用有突破性的發展，但主要是在軍事方面，戰後才開始廣泛應用到其他方面，包括氣象。

蝙蝠在幽暗的洞穴中飛行，會一邊發出超音波一邊接收傳回來的訊號來探測物體，因此不會與同伴相撞或碰到牆壁，也可



氣象雷達觀測示意圖，由不同仰角的觀測面組成一個「體掃描」，完成對整層大氣的觀測。

以用來捕捉獵物。氣象雷達偵測物體的原理就類似蝙蝠，差別在於雷達發射的是電磁波，且可應用於大範圍探測遠處的物體。

由於雷達遠距且大範圍的面狀探測特性，在應用到氣象上後，很快就用作大氣中降雨系統的重要觀測工具。氣象雷達是在短時間內以波束狀的 360 度掃描一圈構成一個觀測面，再利用幾個不同高度的觀測面組合獲得一整層大氣的觀測，這樣多個不同高度組合的掃描稱為一個「體掃描」。

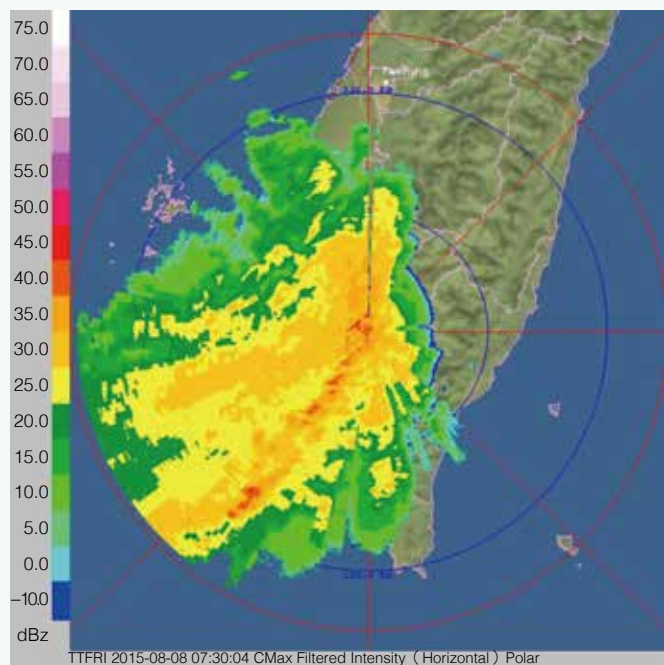
雷達有很多型式與用途，例如用來搜尋特定目標的搜索雷達、用於通訊的基地台，用於大氣觀測的氣象雷達等。這些雷達雖然都是發射電磁波，但雷達構造或電磁波發射方式都依其用途而有所不同。現階段氣象雷達多半使用脈波方式發射電磁波，也就是雷達只發射一小段很短的時間（通常是百萬分之幾秒），接下來一長段時間不發射（一般形容為雷達在「聽」），之後再發射一小段時間。如此循環重複，每一秒鐘可以重複幾百次到幾千次。

電磁波發射後，若在大氣中碰到物體如水滴、雪花、冰晶、蟲、鳥、飛機就會產生交互作用，包括穿透、吸收、散射等。其中有一部分電磁波會沿著雷達波原本行進方向的反方向回到雷達，當雷達在聽的時候接收到這些電磁波，就可以知道所碰到的物體相對雷達的方位、距離與回波強度。

這些資訊再經由專業人員分析，去除非大氣要素的部分如蟲、鳥、地形等後，所留下的就是大氣要素的資訊，這些要素絕大部分由水象粒子組成，如水滴、冰晶等。氣象雷達可以提供高時間與空間解析度的資料，以台灣作業中的氣象雷達為例，時間解析度是 6 ~ 10 分鐘 1 個體掃描，空間解析度則可以到 500 公尺 1 個點以上。

回波場與觀測量場

大家常聽到電視氣象主播說：「我們來看雷達回波圖（或雷達圖）」接著可能會說哪邊正在下大雨，或雨帶位置在哪裡。雷達回波圖是指氣象雷達所觀測到的「回波場」（以 dBZ 為單位），是一種氣象雷達可以觀測到的物理「量場」。那麼氣象雷達可以觀測到多少量場？回波這種量場所代表的意義又是什麼呢？



2015 年 8 月 8 日蘇迪勒颱風，下午 3：30，颱洪中心降雨研究雷達觀測到的雷達回波場。

氣象雷達可以觀測到的每一種資訊，都稱為一種量場（簡稱場）。早期的氣象雷達只能觀測到回波資訊，因此主要有回波場的觀測。不久之後，科學家進一步把都卜勒原理應用在氣象雷達上，稱為都卜勒雷達，增加了雨滴移動速度的資訊，因此增加了「速度場」（這裡的速度指的是相對於雷達觀測方向的速度，或稱徑向速度，而非相對於地面的速度）的觀測。

回波場代表的意義是電磁波在空中碰到物體後，返回雷達處的電磁波強度資訊。由於雷達資訊經過專業人員的分析處理，去除了大部分非大氣要素的影響，而貢獻回波的主要大氣要素是水象粒子，因此，可以把回波場視為大氣中水象粒子的表現。若只取液態水的部分來看，回波場跟降雨就有所關聯。

回波圖與降雨率

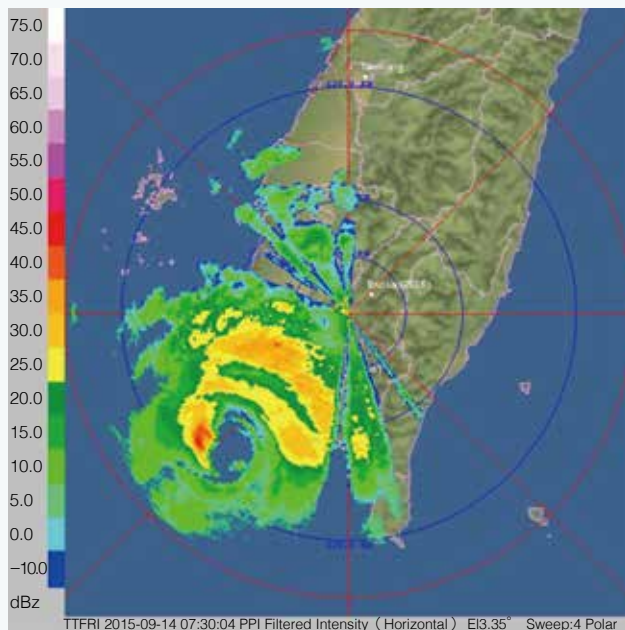
回波是否就等於降雨？它們的確相關，但並非是單純一對一的對應關係，也就是單一的回波值並不代表單一的降雨率，這是因為回波與降雨都只是雨滴譜反應的結果。雨滴譜指的是空間中 1 個單位體積（通常是 1 立方公尺）雨滴大小顆粒數分布的情形，當雨滴顆粒越小，所能貢獻的回波強度越小，反之則越大。同樣地，當雨滴顆粒越大，所能貢獻的降雨率也越大，反之則越小。

雖然同樣都是雨滴顆粒越小就貢獻越小的回波強度或降雨率，但兩者貢獻的比例卻不一樣。回波強度與雨滴顆粒大小的 6 次方成正比，降雨率則與雨滴顆粒大小的 3.67 次方成正比。因此，同樣大小的雨滴對於回波及降雨率的貢獻程度是不同的。也因此，同樣的降雨率可能是由許多小雨滴或較少的大雨滴所組成，而這不同的雨滴譜組成所反映的回波值可能不相同，也使得回波場的應用受到限制。

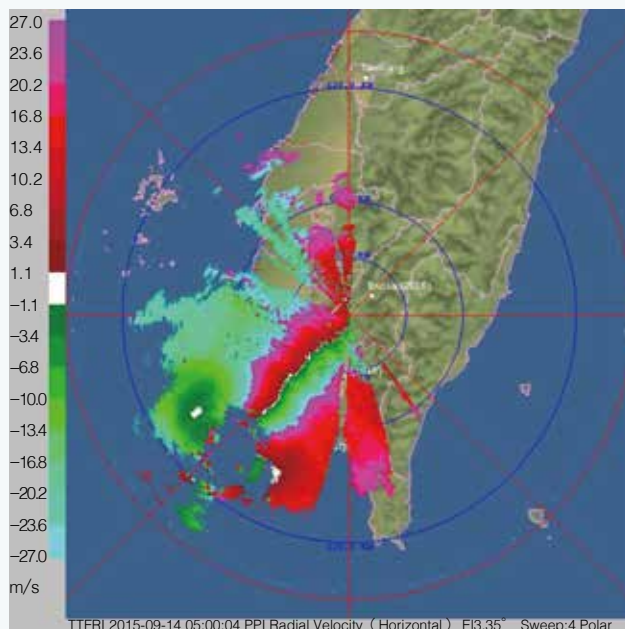
回波雖然與降雨並非單純一對一的對應關係，但在定性上，回波值大的地方仍然代表有較多或較大的雨滴，形成較大降雨的機率也較高。因此，回波圖還是有很大的參考性，可以很快知道哪裡可能在下雨，何處可能有較大的降雨。

回波圖一般以藍綠色系的冷色系為低值，黃紅色系的暖色系為高值，較低的回波值通常代表較低的降雨率，反之則代表較高的降雨率。通常回波值在 35dBZ 以上就可以算是較強的降雨，若回波值在 55dBZ 以上，則有出現冰雹的可能。

利用回波與降雨的定性關係，甚至可以粗略推算再過多久某個區域可能會降大雨。觀察連續時間的雷達回波圖，可以推



2016 年 9 月 14 日莫蘭蒂颱風，下午 1：00，颱洪中心降雨研究雷達觀測到的雷達回波場可以看到有颱風眼的結構。



2016 年 9 月 14 日莫蘭蒂颱風，下午 1：00，颱洪中心降雨研究雷達觀測到的雷達速度場。由於颱風環流呈現逆時針方向運動，因此以台灣西南部而言，當時應該吹強烈的西北風。

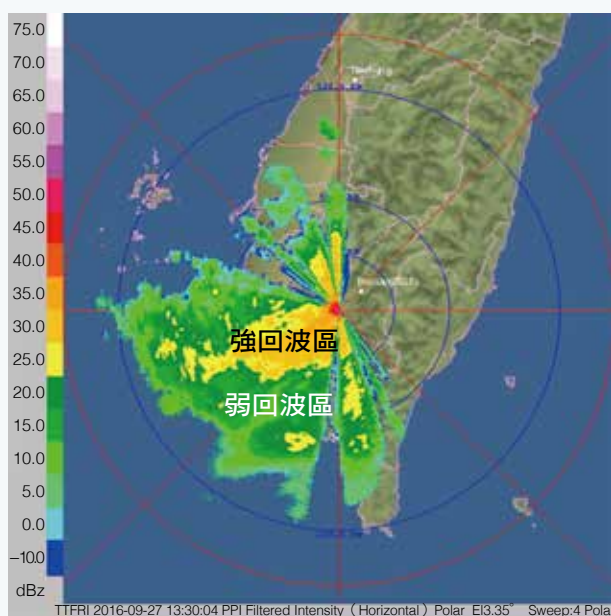
算出過去 1 小時回波區的移動方向與速度。若依據這個方向與速度繼續向後推估，就可以粗略知道 10 分鐘、20 分鐘回波的位置可能在這裡。但這種粗估的方法並不精確，且可以向後推估的時間也沒辦法很久，一般無法超過 1 個小時，否則誤差會變得相當大，因此僅可做為很粗略的推測。

雷達定量降雨估算

中央氣象局目前有 4 座作業雷達構成台灣環島雷達網，全年無休地監視天氣並提供大量的觀測資料。這些資料除了能幫助判斷何處有降雨、降雨的強弱或颱風眼、雨帶的位置外，進行「雷達定量降雨估算」是另一個重要的應用。

雷達定量降雨估算是利用雷達觀測資料估算出對應的降雨率。至今降雨資訊的觀測主要是靠地面雨量站，而由於地面雨量站的分布問題，尤其在台灣雨量站分布密度受到地形影響，在平地及山區分布差異很大。平地架設維護容易，密度高；山區則因地形崎嶇架設維護不易，密度低，降雨資訊觀測較缺乏，也較難評估總降雨量的多寡。若可以利用雷達面觀測的特性，得到整個面的降雨資訊，將可彌補分布不均區域的降雨資訊。

雷達定量降雨估算的概念就相當於在空間中分成許多個網格，而每一個網格點上都有一個雨量站進行觀測，既可彌補山區雨量站密度較低的缺點，也可提供大量的降雨估計資訊。當劇烈天氣發生時，就可提供較完整的降雨資訊，做為防救災決策的參考。

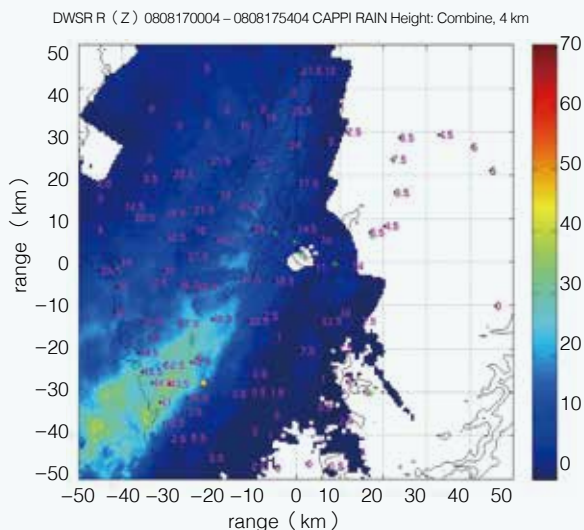


回波圖中冷色系回波是低值，暖色系回波是高值，較低的回波值通常代表較低的降雨率，反之則代表較高的降雨率。

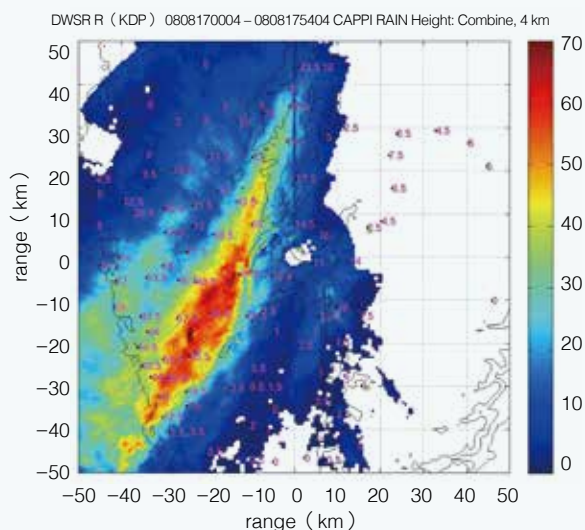
回波場與降雨量有一定的關係，雖非一對一的對應關係，但科學家仍利用雷達的回波觀測資料與雨量站的降雨觀測資料，以經驗統計的方法獲得一個回波與降雨的對應公式，稱為回波估算降雨公式。透過這公式，便可從雷達回波估計降雨量。

然而，這關係式僅是一經驗統計公式，且由於回波和降雨間並非是一對一的關係，在相同降雨率的情況下，其雨滴譜的組成會影響觀測的回波值；而相同的回波值可能代表著不同的降雨率，使降雨估算與實際情況常有不小的誤差。這也是直到今日還未能完全使用雷達估算的降雨資訊取代地面雨量站的主要原因。

雷達回波圖是指氣象雷達所觀測到的「回波場」，有很大的參考性，可以很快知道哪裡可能在下雨，何處可能有較大的降雨。



利用回波—降雨對應公式，可以由雷達觀測回波值估算出降雨量。圖中是 2015 年 8 月 8 日蘇迪勒颱風，下午 5：00～6：00，經雷達觀測所推算出的 1 小時累積降雨量。圖中彩色表示雷達定量降雨的估算，數字則是同一時間內地面雨量站所觀測到的降雨量，仔細比較可以看出仍有不少誤差。



利用雙偏極化都卜勒雷達所觀測的「差異相位差場」與降雨對應公式，估算出降雨量。圖中是 2015 年 8 月 8 日蘇迪勒颱風，下午 5：00～6：00，經雷達觀測所推算出的 1 小時累積降雨量，圖中彩色表示雷達定量降雨的估算，數字則是同一時間內地面雨量站所觀測到的降雨量，與回波—降雨對應公式所估算出的降雨量相較已有許多改善。

近十多年來，一種新型式的雙偏極化都卜勒雷達開始大量在世界各地服役。這種雷達所增加的偏極化參數觀測量場如「差異相位差場」，可以改善雷達定量降雨估算的精確度，比以往的回波估算高很多。

中央氣象局已經開始對現有作業雷達進行升級，水利署新建置的都會區防災降雨雷達也直接採用雙偏極化都卜勒雷達。颱洪中心目前正利用「台灣降雨研究雷達」進行偏極化參數估算降雨的研究，以改進

現有的雷達定量降雨估算。大家可以期待在不久的未來，這些環繞著台灣構成的氣象雷達網可以提供更精確的降雨資訊，帶給人們更多實際的幫助。

曾吉暉

國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心

