

網連雷達雜波統計特性分析

張保亮 丘台光 王碧霞 林品芳

中央氣象局氣象衛星中心

(中華民國九十二年十月七日收稿；中華民國九十三年二月二十三日定稿)

摘 要

雷達接收的訊號中，除了真實的天氣訊號外，其中亦包含了許多非天氣現象的干擾訊號，除了影響觀測與預報人員對天氣系統的詮釋與判斷外，對於下游應用產品的影響更是深遠。

利用五分山雷達資料進行為期一年的主觀分析統計發現，地形(地面)雜波長時間存在雷達資料中，其他雜波發生的頻率相對較低，其中大範圍的海面回波(大於 10 dBZ)發生頻率約為 60%，而非正常傳播與干擾回波發生的頻率約為 8.0%。

為進行長期的雷達雜波統計作業，本研究利用中央氣象局 2003 年 1 月至 2003 年 6 月五分山、花蓮、七股、墾丁四個雷達資料，以雷達觀測最低層的 4 個仰角(0.5、1.5、2.4、3.3 度)進行統計分析。分析結果顯示，網連雷達之海面回波現象均相當明顯，墾丁雷達海面回波則因該雷達之天線海拔高度較低，以及較接近海岸，使其現象較其他三個雷達明顯。另外，五分山及七股雷達均存在大範圍的地形雜波。五分山雷達的地形回波位於雪山山脈山頂區域、大屯山系以及宜蘭南方之山區，而七股雷達則位於東北至東側的中央山脈區域，影響仰角可達 3.3 度以上。墾丁雷達在蘭嶼島區域，也有地形雜波的出現，其影響可達仰角 2.4 度。

在利用統計結果進行地形雜波的濾除時發現，回波閾值與頻率選取，決定了地面雜波在地理上的分布位置，也關係著地形雜波濾除的成效。初步測試結果顯示，在大於 0 dBZ 的回波閾值與 15% 頻率的條件下，可以有效去除地形雜波，而真實的天氣現象亦得以保留。

關鍵詞：都卜勒雷達、雷達雜波、回波統計

一、前 言

隨著中央氣象局雷達網連的建置完成，台灣地區都卜勒氣象雷達的密度，已堪稱世界之

冠。然而，在實際作業中，雷達觀測受到電磁波的幾何傳播特性、大氣環境特性的改變、觀測範圍的地形分布特徵，以及其他外來的干擾源，均會影響雷達的觀測品質。就影響雷達天

氣觀測的雜訊而言，可依其形成原因分為：地形(地面)雜波、海面回波、非正常傳播回波(Anomalous Propagation, AP)、干擾回波，以及不明回波等五大類(NRC 2002 ; Ryzhkov et al. 2002)。這些影響雷達資料品質的雜訊，除了影響觀測與預報人員對天氣系統的詮釋與判斷外，對於下游應用產品的影響更是深遠，其中又以雷達回波降水估計的相關產品所受到的影響最大。此外，在進行都卜勒速度場反折錯處理時，若雷達雜波無法有效控制，將可能導致速度場反折錯(unfolding)處理的失敗(鄧 2003)，下游相關的都卜勒速度場產品也將無法使用。因此，為確保雷達資料的正確性，必需建立完整的雷達資料品質控制程序，才能發揮雷達在天氣監測與預警方面的最大功能。

雷達雜波中，以地形(地面)雜波對於天氣系統的研判影響最為顯著，特別是在山區雷雨系統即將形成或發展的階段。地形(地面)雜波為雷達電磁波觸及地形(地面)區域並產生反射所造成，其與雷達電磁波的波束寬度、地形的高度以及當時的大氣環境有關。地形雜波的濾除，在觀測作業中，可透過接收機設定零值都卜勒速度值及定義頻譜寬加以處理(Joe et al. 1995)。在後端的資料處理方面，則可依據標準大氣假設下的電磁波傳播路徑，將受地形阻擋(blocking)或受影響的資料先行濾除，這是相當常用的後端處理方式。此外，由於地面雜波靜止不動，除了具有較強的回波強度外，其都卜勒速度值具有接近零值的特性。因此，應用程式化的分析技術，透過回波與速度場的直接比對，亦可去除部分殘留的地形雜波。海面回波顧名思義是出現於海面上之回波 (Ryzhkov et al. 2002)，發生原因主要可歸因於電磁波旁波 (Side lobe) 觸及海面所造成，其與當時的大氣環境有關，

最容易出現在鄰近海岸雷達的較低層仰角觀測資料中，海面回波強度則與電磁波旁波觸及海面的角度以及當時的海面風速有關。由於海面回波主要侷限於較低層仰角，在資料處理上，可以透過與較高仰角回波強度的比對來加以去除。而當大氣的溫、溼度梯度發生劇烈改變時(如逆溫層)，電磁波傳播將產生超折射(super refraction)的現象，使得雷達電磁波的行進路徑產生大幅偏離，並可能觸及地面，此類回波我們稱之為非正常傳播回波(Steiner and Smith 2002)或槽化回波。如同地形(地面)雜波的處理方式，可在雷達前端與後端配合零值都卜勒速度場進行處理，但在都卜勒速度場觀測範圍外的回波觀測區域則無法進行，此時則需藉助其他觀測工具(衛星、雨量站、探空資料)的配合，進行非正常傳播回波的濾除(Steiner and Smith 2002)工作。

雷達接收大氣中降水粒子對於雷達電磁波的反射能量，但對於非雷達本身發射的訊號也會被雷達所接收，當相近頻率的干擾源出現時，對於降水觀測將產生影響。在干擾源相對於雷達具有移動特性時，干擾回波出現的方位、時間以及波束寬度，均可能隨時間發生改變。由於其外觀特性相當特殊，且為外來訊號，在都卜勒速度場資料中並不會出現，因此，在雷達接收機即可進行前端的處理，而透過後端的型態辨識亦可加以去除。非上述原因產生之回波，由於其外觀型態具很高的不確定性，其成因可能是鳥類的遷徙行為(Zhang et al. 2002; 鄧等 2003)、船舶、飛機等移動目標物，或者是大氣中小片金屬(軍事用途之人為干擾源)所形成的碎屑回波(chaff echo)所造成，這類回波皆定義為不明回波。此類回波，相對於其他雷達雜波而言，較為隨機出現且範圍小，對雷達觀測的影

響程度相對較小。

整體而言，雷達雜波的發生原因雖不同，但透過系統性的分類與特性探討，可以掌握到其發生的背景條件，並可尋求可能的解決方法。本研究首先選定中央氣象局五分山雷達為期一整年資料，針對上述雷達雜波，以主觀的方式對於雷達雜波的外觀特性，以及其在季節與日夜變化的發生頻率進行分析。此外，由於主觀統計方法較不易進行較長期的分析，本研究嘗試利用客觀的方式，針對中央氣象局五分山、花蓮、七股與墾丁四個雷達的回波觀測資料進行統計，除了分析網連雷達雜波的回波統計特性外，也將說明如何應用統計結果來改善雷達的資料品質，以及初步的測試結果。

二、五分雷達雜波分布特性

為對於雷達雜波的地理分布特性與發生頻率進行統計，本研究首先利用1999年9月1日至2000年8月31日共計一年的五分山雷達資料進行系統性的統計分析。此外，為方便主觀統計作業的進行，分別對地形雜波、海面回波、非正常傳播回波、干擾回波以及不明回波加以定義：

- 地形雜波：無組織性回波位於地形區域，具有準靜止的特性，且最大回波強度達 50 dBZ 以上。
- 海面回波：位於台灣北部及東北部近海 100 公里內，雷達回波值大於 10 dBZ 且範圍大於 1000 平方公里，其回波型態在 PPI(平面位置顯示器)產品中呈扇形分布。
- 非正常傳播：無組織性回波位於大陸沿海或島嶼區域，具有準靜止的特性，且最大回波值達 50 dBZ 以上之面積達 1000 平方

公里，在島嶼地區達 100 平方公里。

- 干擾回波：回波型態成波束狀，且其長度達 300 公里以上。
- 不明回波：上述回波外觀型態無法定義，且為非天氣降水現象所造成的回波。

圖1為五分山雷達之地形雜波與海面回波個案。圖中可見位於雪山山脈山頂區域，存在散亂、無組織性的強回波分布，最大回波值可達50 dBZ以上，並具有準靜止的特性。而且該時段的地面並無降水現象發生(圖未示)，顯示此回波為雷達電磁波束受地形反射所造成。圖中也可發現，位於雷達西北西方約30公里處之大屯山系以及宜蘭南方之山區，同樣發現性質類似的地形雜波。另外於雷達站西北方至東南方之近海，出現半徑約100公里的扇形回波帶，半徑約60公里處之最大回波值達10~15 dBZ左右。

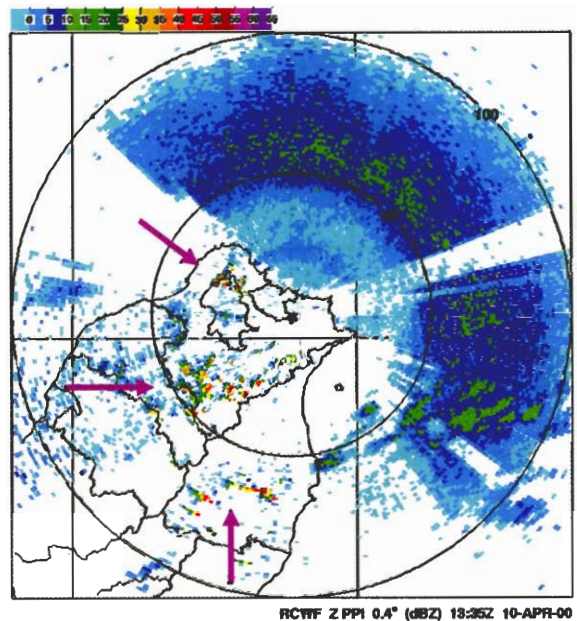


圖 1 2000 年 7 月 13 日 2306Z 五分山雷達地形雜波與海面回波個案。圖中顯示之觀測範圍為 100km，分析仰角為 0.4°。

當仰角逐漸提高時，此回波區也逐漸消失(圖未示)。而大於0 dBZ的海面回波，其發展高度約在1.5~2.0公里。進一步由風場(圖未示)分析可以發現，此個案當時的風場主要以東北風為主，且最大風速值達10~14 m/s。此外，圖中位於雷達東北方向有明顯的資料中斷區，為電磁波受到東北角山區的阻隔作用所造成。

圖2為五分山雷達非正常傳播回波個案。顯示在距離五分山雷達西北方，約250至460公里的大陸東南沿海地區，出現相當大範圍的零散強回波分布，最大回波強度如同地面雜波，可達50 dBZ以上。由於此區域之雷達電磁波波束中心高度已超過10公里，且雷達波束寬大於5公里，除非存在有強烈的雷雨系統或颱風，在該區域才有可能產生如此強烈的回波。比對當時衛星雲圖(圖未示)可發現該區域並無明顯的對

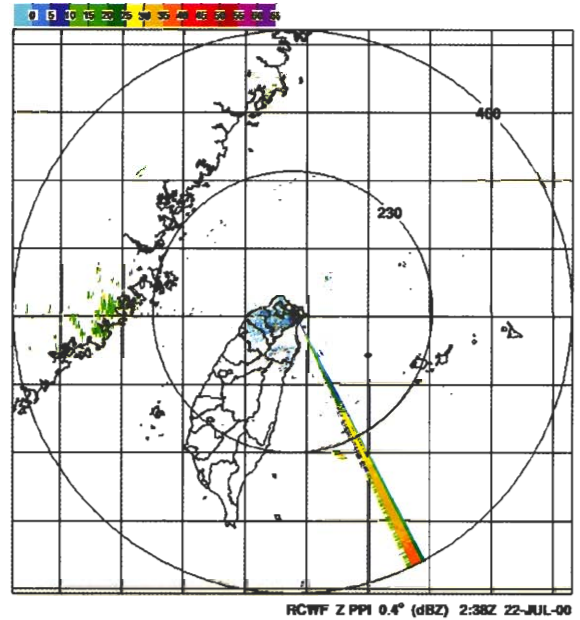


圖 3 2000 年 7 月 22 日 0238Z 五分山雷達干擾回波個案。圖中顯示之觀測範圍為 460 km，分析仰角為 0.4° 。

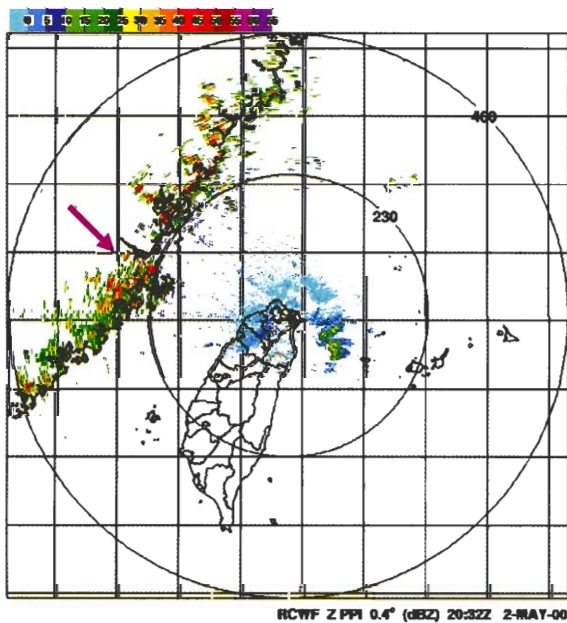


圖 2 2000 年 5 月 2 日 2032Z 五分山雷達非正常傳播回波個案。圖中顯示之觀測範圍為 460km，分析仰角為 0.4° 。

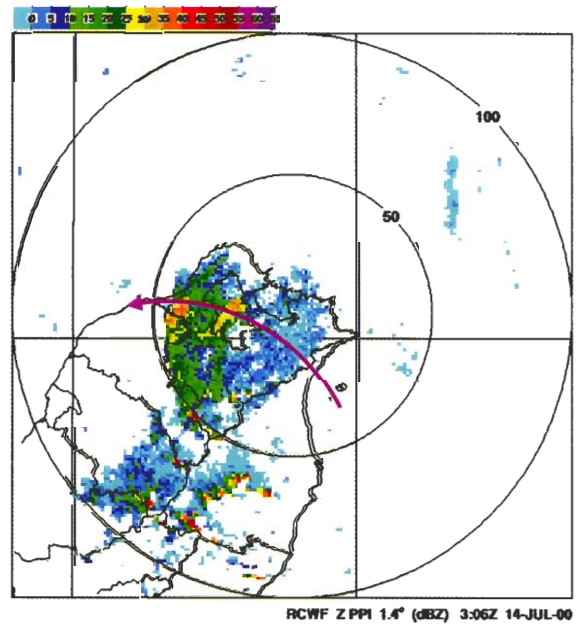


圖 4 2000 年 7 月 14 日 0306Z 五分山雷達不明回波個案。圖中顯示之觀測範圍為 100 km，分析仰角為 1.4° 。

流系統存在，顯示該回波的出現並非降水粒子所造成。由其分布特性來看，最可能的形成原因為電磁波的非正常傳播。此現象除了經常出現在大陸東南沿海外，位於雷達站東南東方的日本島嶼(如宮古島)也可發現。圖 3 為五分山雷達干擾回波個案。可以發現位於地形阻隔區的南南東方位上，出現明顯的波束狀回波，寬度約5度方位角，長度則涵蓋整個460公里觀測範圍，回波強度則介於5~35 dBZ之間，且在徑向分布上相當均勻。圖4為五分山雷達不明回波個案，可見雷達西方約25~40公里處，出現明顯的"降水"回波，最大回波達35 dBZ，回波強度大於30 dBZ的涵蓋範圍達1000平方公里，其移動軌跡呈現氣旋式的特性，由雷達東南方之宜蘭外海逐漸接近台灣東北部陸地，然後再往台灣西北部海面移動，隨後逐漸減弱消失。由衛星與地面觀測皆顯示(圖未示)當時台灣北部地區並無降水現象的產生。

在五分山雷達雜波的主觀統計方面，1999年9月1日至2000年8月31日的統計時間內，五分

山雷達實際觀測時數高達8529小時，佔全年總時數之97%，顯示五分山雷達在此階段有相當高的運轉率。利用此資料來統計各類雜波在季節與日夜變化的發生頻率，應有相當程度的代表性。圖 5 為針對五類非天氣回波定義所得到的發生頻率圖，可見地形回波時時刻刻出現在雷達觀測資料中，對於天氣系統的影響，為非天氣回波類別中最普遍也是最嚴重的。海面回波出現時數為5127小時，發生頻率為60%。在季節分布上，海面回波在11月到隔年3月發生頻率均達10%以上，其它月份則小於10%(圖6)，幾乎沒有日夜變化的特性，平均而言，一天之中每一小時發生頻率均在4%~5%之間(圖未示)。此結果顯示，東北季風時期海面回波最為顯著，其形成原因應與該時期台灣北部海面風速較其它季節為強有關，而當鄰近海面受颱風環流影響時，因海面風速的增強也經常造成海面回波的加強。

非正常傳播現象發生的時數為633小時，發生頻率為7.4%，而干擾回波發生時數為680

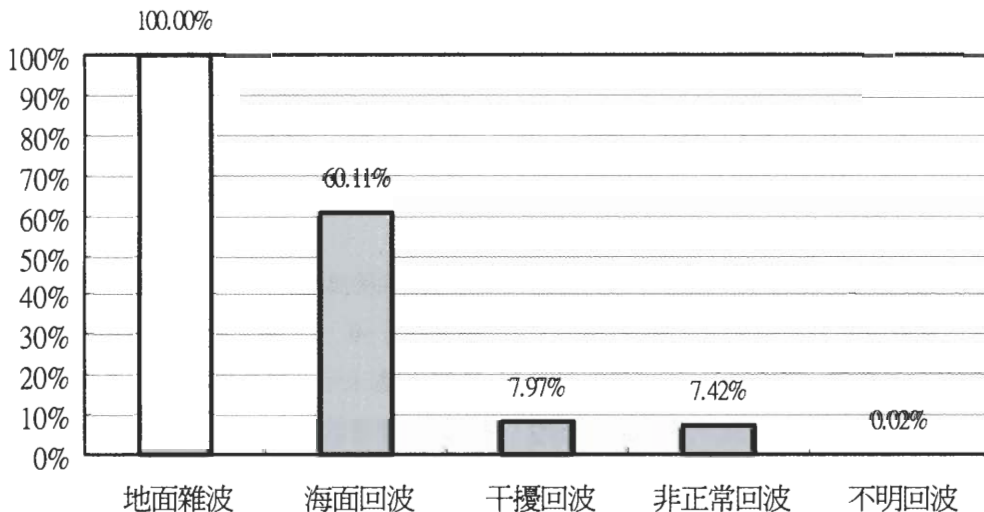


圖 5 五分山雷達非天氣回波發生頻率分布圖。統計時間為 1999 年 9 月 1 日至 2000 年 8 月 31 日。

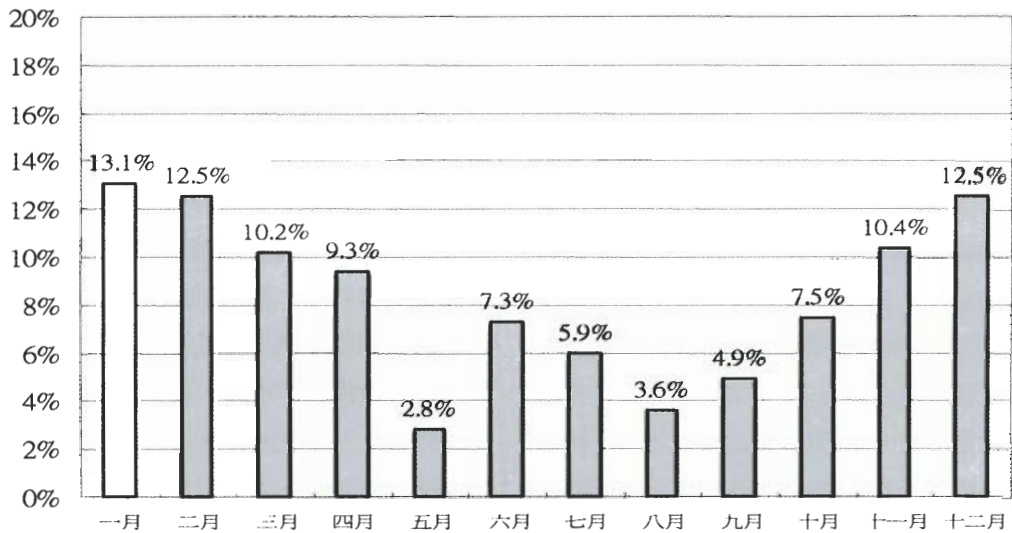


圖 6 海面回波不同月份發生頻率分布圖。統計時間為 1999 年 9 月 1 日至 2000 年 8 月 31 日。

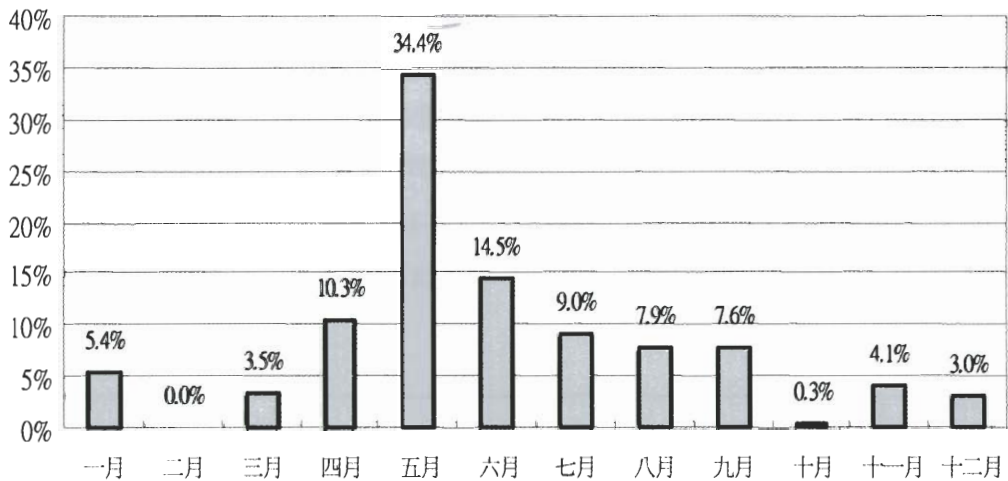


圖 7 同圖 6，但為非正常傳播回波不同月份發生頻率分布圖。

小時，發生頻率約為 8 % (圖 5)，兩者發生的頻率接近。非正常傳播回波有季節性的變化 (圖 7)，其發生頻率以 5 月最高，高達 34.4%，6 月次之，發生頻率在 10 ~ 15 % 之間。顯示春、夏交替的季節，非正常傳播發生的頻率相對較高，可能是因大氣之溫溼度變化較為顯著所導致。在日夜變化方面，非正常傳播發生的頻率在清晨及

傍晚頻率稍高 (圖 8)，平均而言，每小時的發生頻率在 2 ~ 6 % 之間。干擾回波雖無顯著的季節性變化 (圖未示，發生頻率在 7 ~ 9 % 之間)，但卻有相當顯著的日夜變化，最大發生頻率分別出現在清晨 6 點與傍晚 6 點，值均接近 27 % (圖 9)，與日出、日落時間相當，由於日出與日落隨季節而改變，因而使得頻率產生區段的分布。此

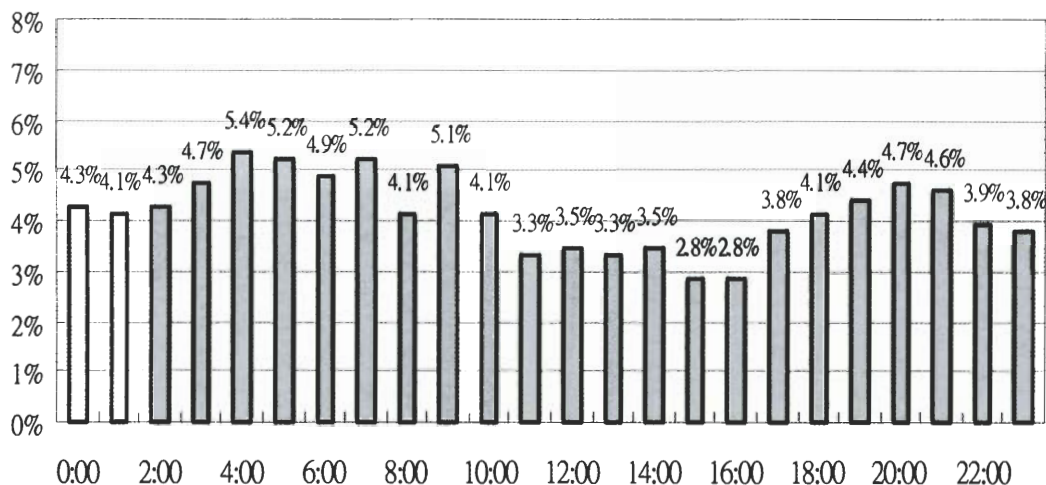


圖 8 非正常傳播回波於一天之中不同時間的發生頻率分布圖。統計時間為 1999 年 9 月 1 日至 2000 年 8 月 31 日。

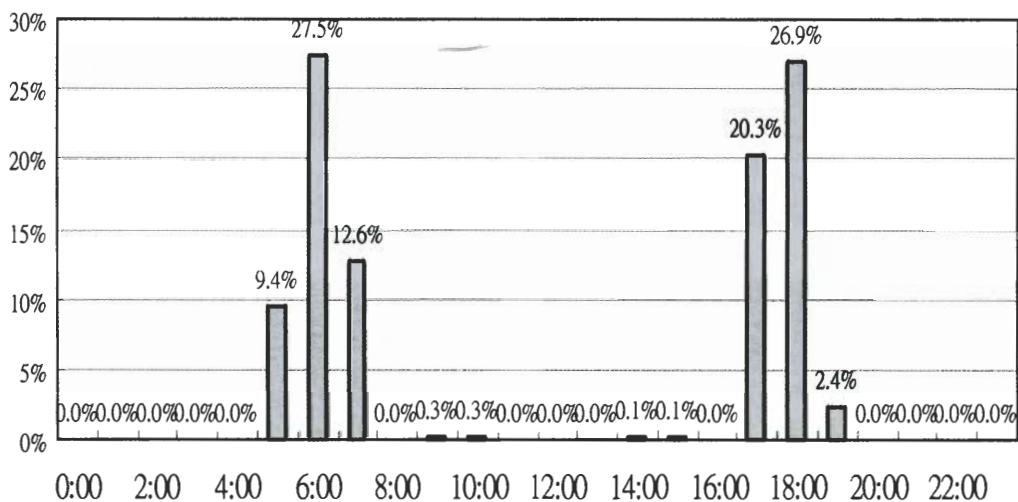


圖 9 同圖 8，但為干擾回波於一天之中的發生頻率分布圖。

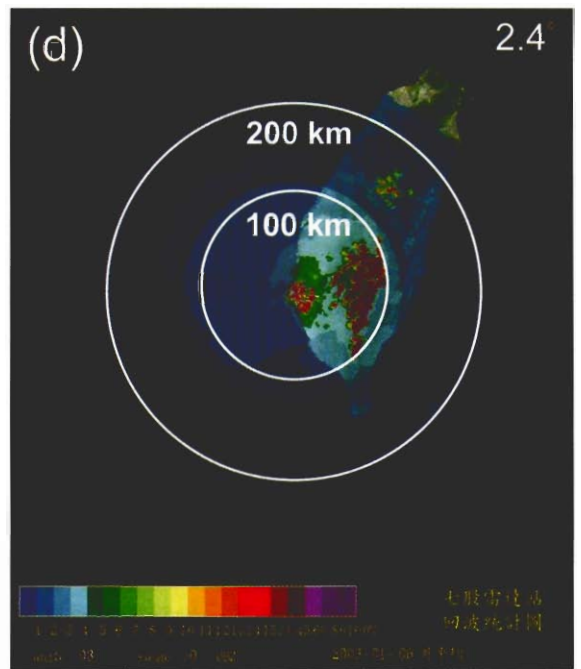
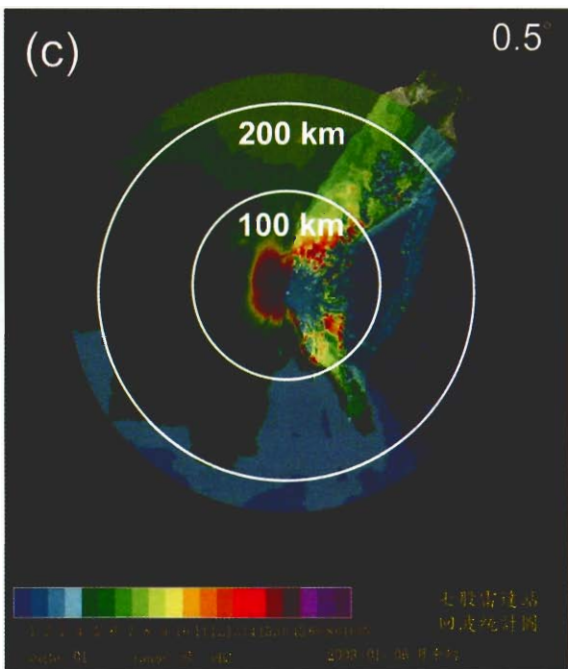
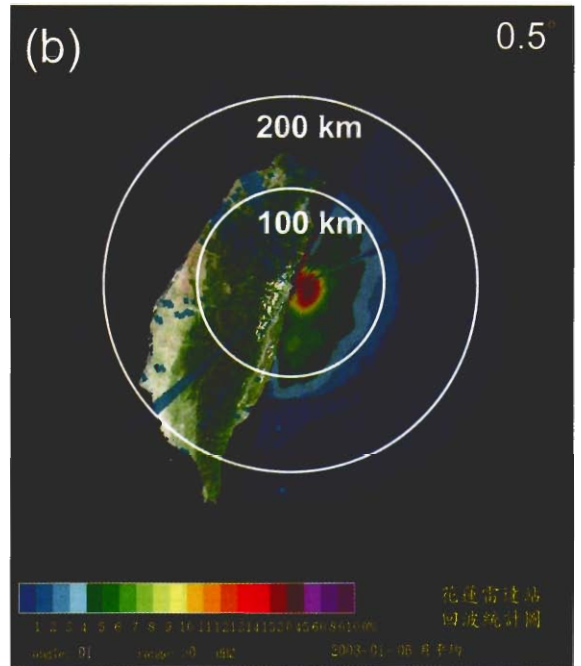
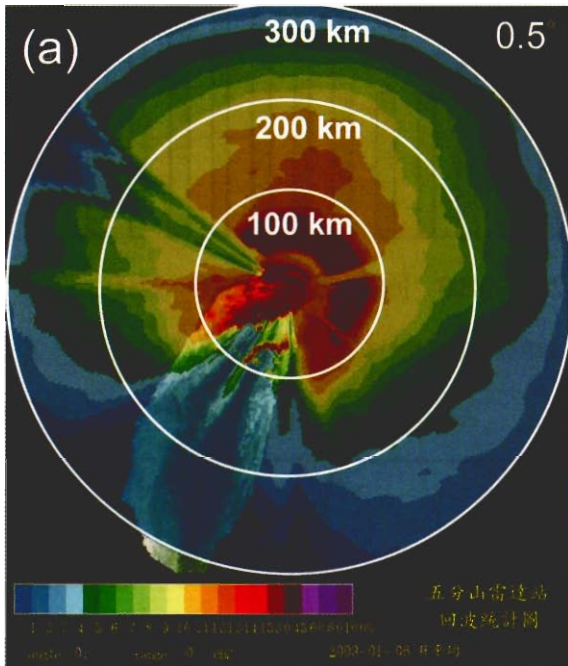
結果顯示，五分山雷達的干擾回波其主要來源為太陽輻射，而此種因太陽輻射所產生的電磁波干擾，在衛星觀測與衛星通訊的訊號接收也會發生類似的現象(Ikeda et al. 2000)。另外，不明回波發生的頻率極低，約佔實際觀測時數的 0.02 %，因此，此處並未進一步針對其季節及日夜變化進行分析。

三、雷達回波統計

以準靜止不動的雷達雜波而言，經由長期間的統計，地形回波在該特定位置的發生頻率應相當接近於 100 %，而天氣回波則因其具有移動以及發生時間相對短暫的特性，其發生頻率

應相對偏低，在此種概念下，可將天氣回波與雷達雜波加以分離。因此，本研究希望藉由此概念，找出干擾天氣觀測的雷達雜波の時空分

布特徵，特別是影響台灣地區最為嚴重的地形雜波。



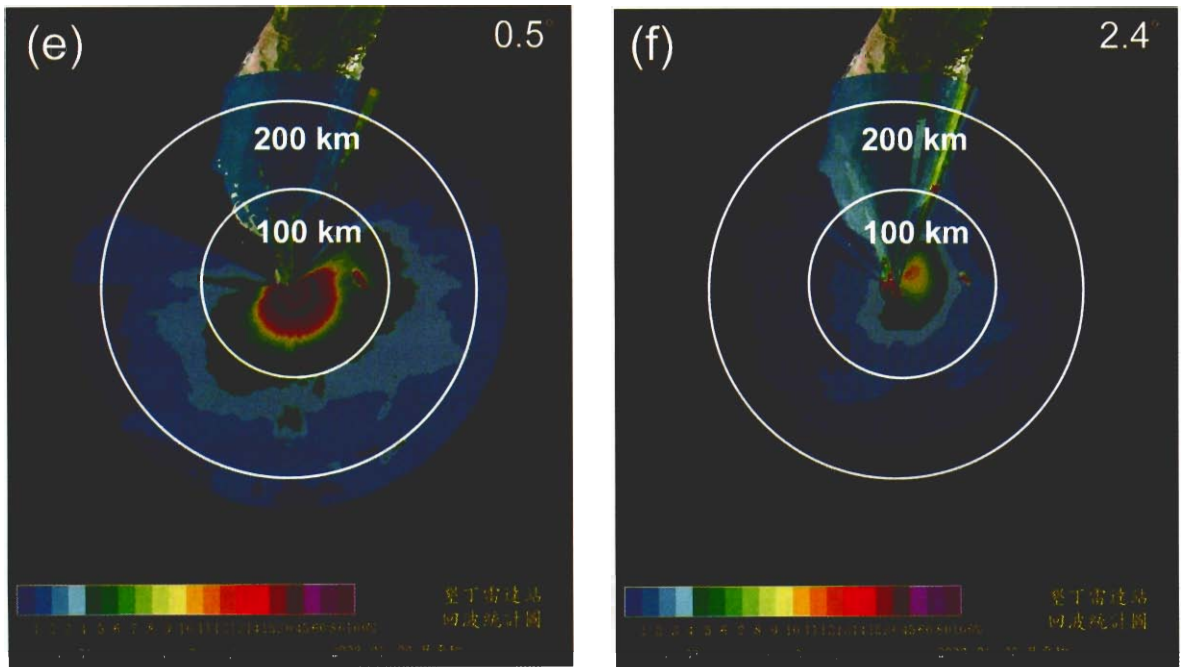


圖 10 網連雷達 2003 年 1 月至 6 月回波強度大於 0dBZ 之發生頻率統計圖。(a)為五分山雷達，分析半徑 300 公里，仰角 0.5 度。(b)為花蓮雷達，仰角 0.5 度。(c)為七股雷達，仰角 0.5 度。(d)同(c)，但為仰角 2.4 度。(e)為墾丁雷達，仰角 0.5 度。(f)同(e)，但為仰角 2.4 度。(b)~(f) 分析半徑皆為 230 公里。

本研究初步選取2003年1月至6月中央氣象局五分山、花蓮、七股、墾丁四個雷達觀測資料，以最低層的4個仰角(0.5 (0.4)、1.5、2.4、3.3度)將回波分為 -10~50 dBZ計7個區間進行統計。當回波數值大於前述區間的數值時，即列入發生次數的統計，並以月為單位分成日、夜進行統計，最後計算不同仰角及不同區間在雷達觀測範圍內所發生的頻率。每月處理個別雷達約5000~7000筆 (7~10筆/小時 × 24小時 × 30天)體積掃描(volume scan)資料，每月將輸出不同仰角、區間以及日夜共56筆(4個仰角 × 7個區間 × 2(日、夜))之統計資料。

圖10a為2003年1~6月平均之五分山雷達0.5度仰角回波值大於0 dBZ的頻率分布圖。圖

中位於雷達站西北方至東南方之近海，出現半徑約100公里的扇形高頻率帶，東北方至東方半徑約60公里處之最大頻率值達30 %以上。當仰角逐漸提高，此高頻率區則逐漸減小(圖未示)。由圖中也可看出，位於雷達東北方出現明顯的低頻率區，此乃電磁波受到東北角山區的阻隔作用所造成。圖中也可見位於雪山山脈山頂區域，存在相對明顯無組織性的高頻率區，此為雷達電磁波束受地形反射所形成。此外，位於雷達西北西方約30公里處之大屯山系以及宜蘭南方之山區，同樣可發現性質類似的高頻率帶。這些回波的統計結果，與第二節五分山雷達的地形與海面回波的分布相當一致(圖1)，顯示利用統計方法對於高頻率雜波的發生，可以有很好的掌握。圖10b為花蓮雷達回波的頻率分

布圖。可見位於雷達東方近海存在因海面回波所形成的高頻率區，而東北方則存在波束狀的高頻率區，此部分為地面建物反射電磁波旁波所造成。而位於雷達西方的中央山脈區域則出現散亂的低頻率區，由於雷達在此區域的中、低層仰角並未發射電磁波(因為雷達西方地形高聳，且避免電磁波因直接反射而形成干擾)，顯示此區域回波應為外來的干擾，可能是與雷達波長相近的電磁波透過山脈反射的間接干擾。

圖10c為七股雷達回波的頻率分布圖。圖中顯示，雷達站西北至西南方海面，同樣出現明顯的海面回波特徵。此外，雷達東方之中央山脈區域無明顯之高頻率區，主要是由於雷達在接收機部分，已於前置作業將地形雜波進行處理(短脈波模式)的緣故。但在第3層仰角(2.4度)以上並未進行地形雜波處理，所以位於中央山脈區域可見明顯的高頻率區(圖10d)。圖10e為墾丁雷達回波的頻率分布圖。顯示墾丁雷達海面回波的分布頻率較上述三個雷達明顯，最高頻率值接近100%，此應與該雷達天線的海拔高度較低以及離海岸較近有關。此外，圖中位於雷達北方之山脈區域，出現零散的低頻率區，此區域在低仰角並沒有電磁波發射(因為靠近地形區，且雷達波束接近地面)，其發生原因應與外來的干擾有關。另一值得探討的是，位於雷達東北東方約70公里的蘭嶼島，也出現另一高頻率區。當雷達仰角提高至第3層(2.4度)時(圖10f)，此高頻區有減弱的現象，但仍較週遭環境為高，此時在標準大氣下，雷達電磁波束中心的高度已達3.3公里，顯示此區域地形雜波的發生，電磁波旁波應具相當程度的貢獻。

四、回波統計結果應用

由於電磁波的傳播路徑與當時的大氣環境

(溫度、溼度)有密切關連，且旁波也會造成地形雜波的出現，將使得地形雜波發生的時空變化，難以單純的地形資料或分析技術(Joe et al. 1995)加以完整去除。上述統計分析結果顯示，利用回波統計分析，可有效掌握網連雷達的觀測資料特性，特別是對於雷達雜波的地理分布位置以及相關的地形阻隔效應。利用不同回波閾值之發生頻率分析，將可獲得在不同條件下，其地形雜波在地理上的分布特性。而地面觀測站或雨量站在統計期間的降雨頻率，是決定雷達雜波最低發生頻率相當好的參考資料來源。由中央氣象局局屬地面測站於2003年1月至6月的資料分析顯示，此期間具有最大及次大降雨頻率測站分別為基隆及竹子湖測站，降雨時數分別為738.8(17.0%)及646.3(14.9%)小時。為了區隔降水與地形雜波，並降低回波與降水之間的不確定性(Battan 1973)，本文初步選取大於0 dBZ的回波強度，以及其發生頻率高於15%的閾值進行測試。

圖11a為五分山雷達2003年1月至6月的回波統計結果，利用回波值大於0 dBZ，頻率高於15%所求得之合成仰角層(hybrid scan)分布圖。此處合成仰角層定義為：依雷達不同方位的觀測，組合最接近地面且不受地形阻擋與地形雜波影響的仰角觀測。合成仰角層可能因雷達的觀測掃描策略而改變，在靠近雷達區域及地形區，合成仰角層的組成仰角來源也將更多樣性。由於合成仰角層上的資料為最接近地面之降水回波觀測，相當適合用於雷達定量降水估計上，在實際作業中經常被採用。由圖11a顯示，位於雷達北北西方，由明顯之帶狀區域其合成仰角層為2，主要導因於大屯山脈阻擋的結果。在雷達西南方的山區，則幾乎均為第2個仰角層。而位於大屯山、雪山山脈區域、宜蘭西南方部分

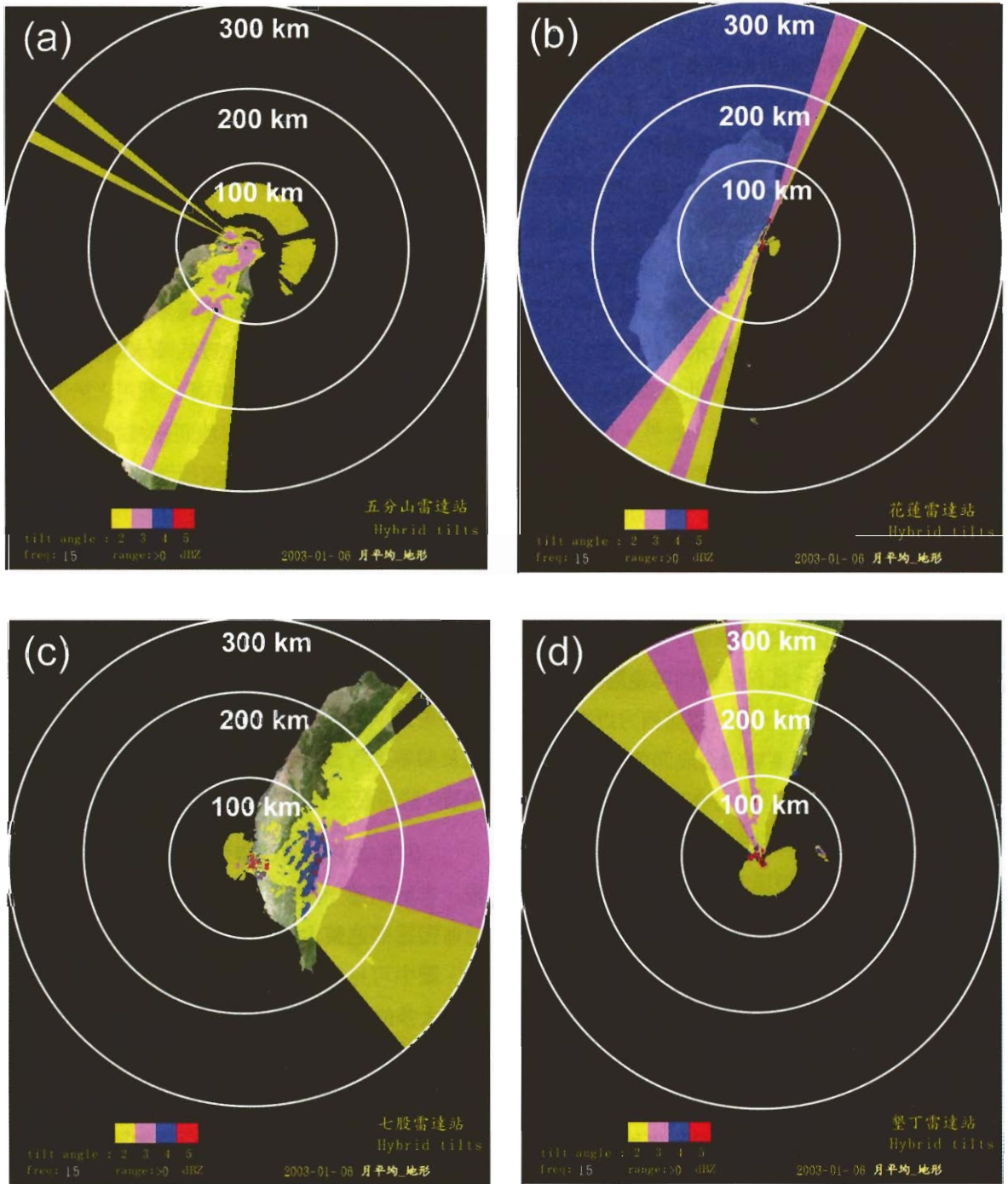


圖 11 利用回波強度大於 0 dBZ，發生頻率大於 15 %，與地形資料求出之合成仰角層分布。分析半徑 300 公里。(a)為五分山雷達，(b)為花蓮雷達，(c)為七股雷達，(d)為墾丁雷達。

山區，以及雷達站周圍地區，其仰角層可達第3層，宜蘭西南方部分區域更可達第4個仰角層。此外，由於台灣北部近海區域，存在長期性的海面回波，在上述的選取條件下，部分環狀區也將會被視為雜波區域而加以濾除，不過其影響只侷限於最低層的0.5度仰角。圖11b為花蓮雷達合成仰角分布圖。位於雷達西方中央山脈區域，其仰角層均已達第4層，顯示該區域之雷達的觀測資料高度已相當高，已不適合進行定量降水估計的處理。圖中也顯示，位於雷達東方近海，其合成仰角層數為2，此為海面回波所造成的影響，但分布範圍不大。此外，位於雷達西方之干擾回波(圖10b)，因發生之位置變動相當大，以致發生的頻率較低，所以並未反映在合成仰角層的分布結果當中。圖11c為七股雷達合成仰角層分布圖。圖中可見，位於雷達東北至東南方區域，因受地形影響，致使其仰角層大多落於第2、3層，部份區域則可達第4層，甚至第5層。圖中也顯示，位於雷達西方近海因海面回波的影響，使該區域的合成仰角層為2。圖11d為墾丁雷達合成仰角層分布圖。圖中位於雷達西北方至北北東方區域，合成仰角層均大於2，部分區域，則出現第3層的仰角。而位於雷達站周圍地區，其仰角層幾乎都達到五層仰角，在雷達南方近海，則因受海面回波的影響，使其在半徑約30公里內之合成仰角層皆為第2層。此外，在雷達東北東方距離約70公里的蘭嶼區域，其仰角層最高可達到第4層。

由於花蓮及墾丁雷達在地形區域並未進行低層仰角的觀測，因此，五分山及七股雷達的地形回波相對明顯。有鑑於此，我們利用上述合成仰角層資料，僅針對五分山及七股雷達進行地形雜波濾除的測試。圖12a為五分山雷達的0.5度觀測資料，位於地形區域有明顯的無組織

性雜波存在，在利用上述合成仰角層進行處理後，這些雜波幾乎均已被濾除，但仍可保留雷達西南方的降水回波(圖12b)。圖12c-d為七股雷達的測試結果，由於七股雷達最低兩個仰角，在雷達接收機部份已進行雜波濾除的處理，因此，我們使用第3層2.4度仰角進行測試，由圖中可以發現，位於雷達東方的中央山脈區域，出現大範圍之回波值大於30 dBZ的區域(圖12c)，在應用合成仰角層進行回波濾除後，局部地區的強回波已被去除，而實際的降水回波則被保留(圖12d)。由上述的測試結果，利用大於0 dBZ頻率為15%的條件，對於地面雜波的濾除效果相當顯著。由於選取的回波值閾值偏小，加上選取的頻率接近時降雨頻率的下限，在應用上述合成仰角層進行地形雜波濾除時，有可能將部分天氣現象一併去除，特別是發展深度較淺之降水系統，對於較劇烈或發展深度較高之天氣系統而言，其所受影響則較小。未來，如能進行更長期的統計資料，並針對不同回波值閾值及頻率進行測試，找出更具代表性的合成仰角層，將可使天氣現象被濾除的問題得到改善。

在完成上述四個雷達的合成仰角資料表後，本研究進一步將其進行整合。圖13為台灣地區雷達網連整合後之雷達波束距離地面高度圖。圖中可見，台灣北部地區使用之雷達波束高度大多位於高度1公里以下，而台中及苗栗地區，使用之高度則在2~3公里間，中部山區則達4公里以上。在嘉南及高屏地區，波束距離地表之高度則多在1公里以下，而花東地區，除了鄰近花蓮雷達站西方及南方部分區域外，波束所在高度大多在2公里以上，部分區域更高達4公里以上。此結果顯示，北部地區及嘉南平原與高屏地區的平地區域，採用的雷達波束距離地面高度，大多可控制在1公里以下，在這些區域

在進行定量降水區域，具有很高的潛力。此外，中部山區及台灣東部的花東地區，雷達波束距離地面之高度大多超過高度3 公里以上，明顯為雷達觀測上的死角，在雷達定量降水估計上，難以達到理想的結果。

五、結論與未來工作

本文利用五分山雷達雜波進行為期一年的主觀統計，分析結果顯示，在一年實際觀測時數達8529小時的統計期間，地形(地面)雜波長時間存在雷達資料中，其他雜波發生的頻率相對較低。地形雜波長時間存在於北部山區，包括雪山山脈、中央山脈以及大屯山系。海面回波主要發生在北部海面距雷達半徑100公里的範圍內，其發生的頻率高達60 %，特別是在冬季東北季風強盛時期，由於海面風速的增強而導致海面回波的加強。非正常傳播回波主要出現在大陸東南沿海地區，強度經常高達50 dBZ以上。統計分析發現，其發生頻率為7.4 %，並以5月為最高，4、6月次之，有日夜變化的特性，但不顯著。干擾回波發生頻率約為8 %，由分析中發現，最大干擾回波發生頻率的時間與方位頻率，與日出、日落的時間與方位相當一致，顯示其主要的干擾源來自於太陽的電磁波輻射。而不明回波發生比例相當低，約佔0.02 %，對於觀測上的影響相對較小。

在進一步的網連雷達回波的客觀統計分析發現，此方法對於雷達雜波的分布特性具有很好的掌握能力，特別是地形雜波在地理上的分布，此方法也可幫助我們了解雷達在不同方位的掃描特性。由統計結果顯示，網連雷達之海面回波現象均相當明顯，墾丁雷達海面回波則因該雷達之天線海拔高度較低，以及較接近海岸，使其現象較其他三個雷達明顯。五分山及

七股雷達存在大範圍的地形雜波。五分山雷達地形回波位於雪山山脈山頂區域、大屯山系以及宜蘭南方之山區，此與主觀的統計分析的結果一致，而七股雷達則位於東北至東側的中央山脈區域，影響仰角可達3.3度以上。墾丁雷達在蘭嶼島區域也有地形雜波的出現，其影響可達仰角2.4度，顯示雷達電磁波旁波對於此區域地形雜波的產生，應具有相當程度的貢獻。此外，由分析中也發現，墾丁雷達北方，以及花蓮雷達西方的中央山脈區域，在低層仰角出現明顯的外來干擾回波，由於雷達在此區域並未發射電磁波，顯示干擾源可能是來自於雷達波長相近的電磁波直接或間接(透過山脈反射)的干擾。

在利用統計結果進行地形雜波的濾除時發現，回波閾值與頻率選取，決定了地面雜波在地理上的分布位置，也關係著地形雜波濾除的成效。初步測試結果顯示，在大於0 dBZ的回波閾值與15 %頻率的條件下，除了可保留天氣現象外，亦可有效去除地形雜波。本研究將持續進行回波的統計作業，以增加統計結果的代表性，亦將針對不同回波值閾值及頻率的選取，找出雷達雜波的地理與季節性分布特性，並進行網連雷達合成仰角層的組合測試，希望在地面雜波的濾除與天氣現象保留之間獲得平衡，藉以建立網連雷達涵蓋區域的有效覆蓋面資料，並做為地形雜波濾除的重要參考。

致 謝

本文得以完成，首先要感謝中央氣象局提供網連雷達資料及作業環境進行統計分析。作者同時要感謝周仲島教授及兩位審查者提供的意見與建議。本文在國科會 NSC 92-2111-M-052-002-AP2 計劃經會補助下完成，在此一併致

謝。

參考文獻

- Battan, L. J., 1973: *Radar Observation of Atmosphere*. Chicago, University of Chicago Press, 324 pp.
- Ikeda, S., E. Shibuya, T. Kamimura, Y. Moriya, and K. Takida, 2000: Measurement of carrier-to-noise ratio of broadcasting-satellite reception from solar interference, *Asia-Pacific Symposium on Broadcasting and Communications (APSBC)*.
- Joe, N. C., D. M. Rinderknecht, and R. S. Hamilton, 1995 : WSR-88D Clutter Suppression and Its Impact On Meteorological Data Interpretation. WSR-88D Operational Support Facility Operations Training Branch. Norman, OK. USA.
- National Research Council, 2002: *Weather Radar Technology Beyond NEXRAD*, National Research Council. Washington, D.C., National Academy Press, 83 pp.
- Ryzhkov, A. V., P. Zhang, R. Doviak, and C. Kessinger, 2002: Discrimination between weather and sea clutter using Doppler and dual-polarization weather radar. The 27th General Assembly of URSI, Maastricht, Netherlands.
- Steiner, M., and J. A. Simth, 2002: Use of three-dimensional reflectivity structure for automated detection and removal of non-precipitating echoes in radar data. *J. Atmos. and Oceanic Tech.*, 19, 673-686.
- Zhang, P., Q. Xu, and A. Ryzhkov, 2002: Identification of biological scatters and radar data quality control. Preprints, *21st Conference on Severe Local Storms*, San Antonio, TX, 208-209.
- 鄧仁星，2003：中央氣象局雷達風場自動化折錯校正方法之建立。第五屆雷達氣象近期發展研討會，2003年3月17-18日，中壢市，台灣。
- 鄧財文、孫元勳、藍正裕，2003：氣象雷達在墾丁地區赤腹鷹過境行為之應用。天氣分析與預報研討會論文彙編(92)，p179-183。

Analysis of Clutter Characteristics using Radar Echo Statistics for Taiwan Radar Network

Pao-Liang Chang Tai-Kuang Chiou Bih-Shya Wang Pin-Fang Lin
Meteorological Satellite Center, Central Weather Bureau

(Manuscript received 07 October 2003 ; in final form 23 February 2004)

ABSTRACT

Weather radars can detect both weather and non-weather scatters. The latter ones can contaminate radar observations and cause forecasters to misinterpret weather phenomenon. Moreover, contaminated radar data will have negative impacts on downstream applications and weather products.

By subjectively examining one year of reflectivity data from Wu-Fen-San radar at the lower elevation angles, five types of clutter echoes, i.e., ground clutter, sea clutter, interference, anomalous propagation, and unaccounted-for echo, are identified. The ground clutter appears almost all the time, while other types of clutter occur less frequently. The frequency of sea clutter occurrence (for reflectivities greater than 10dBZ) is about 60%, and the occurrence frequencies for interference and for anomalous propagation echoes are about 8.0% each.

Four lowest elevation angles (i.e., 0.5, 1.5, 2.4, 3.3 degrees) of reflectivity data collected between January and June of 2003 from the four S-band Doppler radars of Center Weather Bureau are used to analyze clear-air echo statistics and beam blockage patterns for each of the radars. In the umbrella of Wu-Fan-San radar, widespread clutter exists at mountaintops of the Snow Mountain, the Da-Tuan Mountains and the mountainous area near south of I-Lian. Similar ground clutter was also found in other three radars' echo statistics. The influence of ground clutter can reach to 3.3 degrees in the Central Mountain area for Chi-Ku radar and to 2.4 degrees in Lan-Yu Island for Ken-Ting radar. Sea clutter echoes are apparent for all radars, especially for Ken-Ting radar because of the low altitude where the radar's antenna is situated.

Both the geographic distribution and the removal of ground clutter are dependent on the choice of a good reflectivity and an occurrence frequency threshold. A reflectivity threshold of 0 dBZ and an occurrence frequency threshold of 15% are found to be reasonable in removing clutter while retaining weather echoes.

Key words: Doppler radar, Radar clutters, Echo statistics.