

交通部中央氣象局

一百年度委託研究計畫期末成果報告

都卜勒雷達與偏極化雷達在地形上改善
降水觀測方法之研究

計畫類別：■氣象 □海象

計畫編號：MOTC-CWB-100-M-05

執行期間：100 年 03 月 14 日至 100 年 12 月 15 日

計畫主持人：陳台琦

執行機構：國立中央大學大氣物理研究所

中華民國 100 年 12 月 22 日

政府研究計畫期末報告摘要資料表

計畫中文名稱	都卜勒雷達與偏極化雷達在地形上改善降水觀測方法之研究		
計畫編號	MOTC-CWB-100-M-05		
主管機關	交通部中央氣象局		
執行機構	國立中央大學大氣物理所		
年度	100 年度	執行期間	100 年 03 月 14 日至 100 年 12 月 15 日
本期經費 (單位：千元)	700 仟元		
執行進度	預定 (%)	實際 (%)	比較 (%)
	100%	100%	0
經費支用	預定(千元)	實際(千元)	支用率 (%)
	700 仟元	700 仟元	100%
研究人員	計畫主持人	協同主持人	研究助理
	陳台琦		葉威廷
報告頁數	50 頁	使用語言	中文
中英文關鍵詞	都卜勒雷達，偏極化雷達，降水觀測，花東縱谷，GMAP 方法，回波場		
研究目的	台灣南北狹長、中央山脈橫貫其中，地形十分複雜，影響台灣的天氣系統如颱風、西南氣流等，與地形交互作用下，在山區或坡地常常有強降水事件發生，導致土石流或暴洪等災害。本年的計畫則擬於此類天氣現象，以移動式偏極化/都卜勒雷達 TEAM-R 在花東縱谷地區找尋適當的站址進行觀測，以非常緩慢的速度做非常細密的垂直剖面掃描，獲得高解析度的雷達資料。此外在晴空、小雨、大雨等不同天氣狀況下進行觀測，測試 GMAP 方法與 Doppler velocity spectrum notch 方法去除地形後回波場與都卜勒風場的表現，並比較這兩種方法觀測的差異。接著利用偏極化雷達相關係數及差異相位差波譜寬，經過資料處理過濾地形與 GMAP 及 Doppler velocity spectrum notch 這兩種方法比較結果，並選擇適當地形坡度進行測試並與雨量計比較。本計畫目的為改善地形上降水觀測準確性。		
研究成果	1. 今年六月已進行台東地區雷達觀測地點探勘。 2. 針對探勘地點進行覆蓋範圍數值模擬計算，以電光村的結果最佳。 3. 已於今年四月在淡水河口進行一次 GMAP 觀測，且於中央大學在大雨狀況下做 GMAP 觀測。 4. TEAM-R 於今年十月底完成天線升級改造測試作業。		

	5. 在今年 11 月 7 日至 11 月 10 日於台東縣關山鎮電光村完成觀測任務。 6. TEAM-R 於電光村的觀測可以很好的觀測太麻里、池上及花東縱谷一帶。 7. 利用偏極化參數 ρ_{HV} 在可以去除掉較多的地形回波及雜訊。 8. GMAP 方法在去除地形回波並補回降雨資訊時的效果優於 LOG & CSR 方法。 9. LOG & CSR 方法在去除雜訊的表現優於 GMAP 方法。 10. 三種不同資料處理方法處理後的資料，在降雨估計精確度的表現皆有低估的情況。 11. 雷達觀測與地面雨量站共同捕捉到降雨現象的資料很少樣本數不足，且降雨率偏小，結果的代表性不高。 12. 實驗應於降雨量較大時(大於 15mm/hr)再多作幾次測試，預期結果會大有改善。
具體落實應用情形	1. 此計畫會將所有的觀測資料移交氣象局做為參考。 2. 此計畫會將所有雷達資料處理的方法流程及軟體提供氣象局參考。 3. 此計畫可做為是否加強花東縱谷地區雷達觀測的參考資料。
計畫變更說明	無
落後原因	無
檢討與建議 (變更或落後之因應對策)	無

目錄

計畫期中摘要報告	2
目錄	4
第一章 計畫摘要	5
第二章 背景分析	6
第三章 研究方法與執行步驟	10
3-1 工作項目與方法步驟	10
3-2 野外觀測規劃	13
3-3 觀測策略	21
3-4 雷達天線升級修改	24
3-5 資料處理	28
3-6 重要儀器之配合使用情形	28
3-7 結果分析	29
第四章 結論	45
第五章 建議事項	47
Reference	50
附件一	1
附件二	2

第一章 計畫摘要

台灣南北狹長、中央山脈橫貫其中，地形十分複雜，影響台灣的天氣系統如颱風、西南氣流等，與地形交互作用下，在山區或坡地常常有強降水事件發生，導致土石流或暴洪等災害。本年的計畫則擬於此類天氣現象，以移動式偏極化/都卜勒雷達 TEAM-R 在花東縱谷地區找尋適當的站址進行觀測，以非常緩慢的速度做非常細密的垂直剖面掃描，獲得高解析度的雷達資料。此外在晴空、小雨、大雨等不同天氣狀況下進行觀測，測試 GMAP 方法與 Doppler velocity spectrum notch 方法去除地形後回波場與都卜勒風場的表現，並比較這兩種方法觀測的差異。接著利用偏極化雷達相關係數及差異相位差波譜寬，經過資料處理過濾地形與 GMAP 及 Doppler velocity spectrum notch 這兩種方法比較結果，並選擇適當地形坡度進行測試並與雨量計比較。本計畫目的為改善地形上降水觀測準確性。

根據今年 11 月 7 日至 11 月 10 日在台東縣關山鎮電光村實驗結果，TEAM-R 於電光村的觀測可以很好的觀測太麻里、池上及花東縱谷一帶。利用偏極化參數 $\rho_{HV}(0.9)$ 在可以去除掉較多的地形回波及雜訊；GMAP(Filter Dop=6)方法在去除地形回波並補回降雨資訊時的效果優於 LOG & CSR 方法(LOG=0.5dB；CSR=30dB)；而在去除雜訊的表現 LOG & CSR 方法則是優於 GMAP 方法。在應用上，三種不同資料處理方法處理後的資料，在降雨估計精確度的表現皆有低估的情況，主要是因為雷達觀測與地面雨量站共同捕捉到降雨現象的資料很少樣本數不足，且降雨率偏小，結果的代表性不高。實驗應於降雨量較大時(大於 15mm/hr)再多作幾次測試，預期結果會大有改善。

第二章 背景分析

台灣東南部從花蓮到台東地區，雖然人口較少，季節上也只在颱風時期可能發生大的降水事件，但在莫拉克颱風侵襲期間，太麻里地區發生嚴重的土石崩塌災害，突顯出此地降雨觀測較為缺乏。氣象局的全省雷達網由於地形阻檔，在花東地區的確無法提供高時空解析度的降雨估計，再者花東地區呈現峽谷狀態，雷達資料會遭遇到降水信號與地形回波混合的情況，如何利用雙偏極化都卜勒雷達測試數種去除地形雜訊干擾的方法，以及評估去除後降水信號的正確性是本計劃的主要目的。

臺灣地區經濟發展變遷十分迅速，氣象雷達可以提供如颱風路徑強度、梅雨豪大雨中尺度系統及正確降雨量等重要氣象防災資訊(Battan,1973)。在 2009 年台東地區在莫拉克颱風侵襲期間 8 月 5 日~10 日五天累積雨量接近 1500mm，為太麻里帶來豪大雨，圖 1 為 2009 年 8 月 8 日 1 小時區域累積雨量，圖 2 為 0700 時雷達回波圖，由於氣象局的雷達網僅能較高高度角所觀測的回波來判斷這些雨帶的確穿越高山，但是無法得知在溪谷內或高山後低層近地面最強的回波強度，如太麻里山區，從花蓮、墾丁以及七股雷達均無法觀測到，且深山區又無法設雨量站，並且根據一般颱風的觀念模式認為在吹強烈西風時台東地區應該是有焚風現象，因此對雷達在台東附近並未觀測到強回波有可能低估此地強降水的狀況。雖然綠島雷達可以協助台灣東部地區的雨量觀測，但由於此雷達無法提供高時空解析度的雨量估計，因此本計劃有部分目標去了解台東地區雙偏極化都卜勒降雨雷達觀測的可能性。

偏極化/都卜勒雷達除了可以在三維空間中，除了徑向風場外，還可以測量水滴大小、扁平度、粒子個數分佈等雨滴譜儀參數(Doviak and Zrnicek, 1993)，同時提供如相關係數、差異相位差的標準差等訊息，可以幫助去除地形干擾。並且從不受地形部分阻擋影響之電磁波相位資料及可計算較佳的降雨估計(Bringi and Chandrasekar,2001)。本研究團隊已在國內做過多次的雙偏極化雷達(S、C、X 波

段)定量降雨估計的觀測驗證。本計畫的主要目的為採用 X 波段移動式偏極化都卜勒雷達(Team-R)(圖 3)，配合氣象局現有雷達網，將雷達車前往適當地點，針對東南地區可能產生豪大雨的降水系統進行密集觀測。本計畫已於在今年(2011)勘查台東縣從太麻里北上經台東市進入花東縱谷到花蓮沿線尋找可能觀測地點，初步挑了兩個可能地點，在鹿野台地(圖 4)以及舞鶴台地(圖 5)，已於 6 月份先進行觀測地點的初勘。這些地點均擁有觀測不同方位之降水系統的彈性，有助於掌握強降水之對流系統在坡地的狀況，提供正確降雨量估計之重要氣象防災資訊。由於台東地區在秋冬春三季降水都很少，比較有可能的仍屬颱風季節，本計劃規劃在今年夏季有適當的颱風路徑，前往台東地區進行觀測可提供台東地區設立降雨雷達的可行性。並依天氣狀況進行實際觀測，測試不同觀測策略，完成下列三個目標：(1)尋找進行山坡地形降水觀測之適當觀測站址。(2)在不同降雨強度下測試去除地形保留降水資訊的各種方法。(3)對各種方法的結果進行分析並建立最佳的去除地形的作業方式。

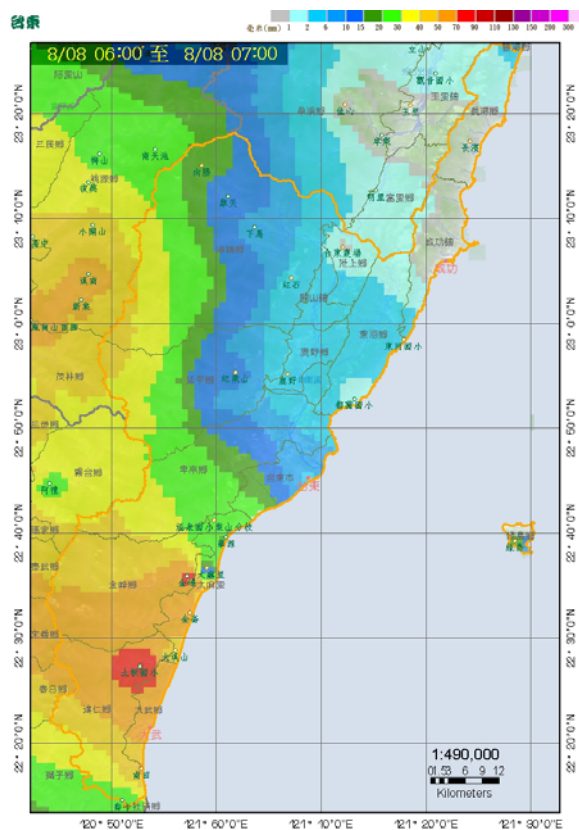


圖 1：台東強降水事件 2009 年 8 月 8 日小時累積雨量。

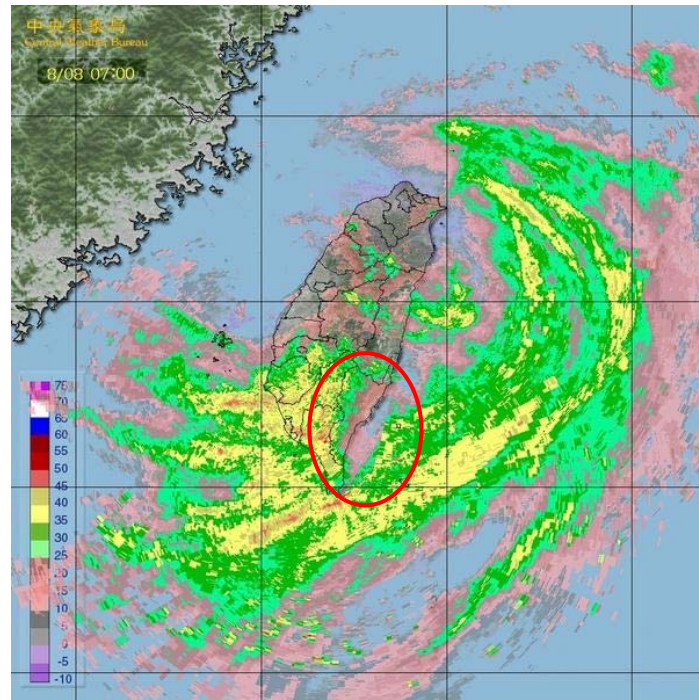


圖 2：2009 年 8 月 8 日全省雷達網聯合回波圖，在台東明顯有一觀測缺口。



圖 3：中央大學移動式偏極化雷達車在台東關山電光村觀測。

第三章 研究方法與步驟

TEAM-R 觀測團隊在過去三年已於五分山、莫內咖啡、佛光大學、蘆洲…等地區進行多次的平地及山區觀測及測試，並於今年移動台灣花東縱谷地區實施移動式 3 公分波長偏極化都卜勒雷達觀測，尋找進行山坡地形降水觀測之適當觀測站址。同時配合氣象局部署在花東縱谷區域處於山坡的雨量站，測試不同的地形雜訊處理方法，並利用處理後的雷達資料作降雨估計，與地面雨量站資料作校驗，評估不同的地形雜訊處理方法的正確性。台灣南北狹長、中央山脈橫貫其中，地形十分複雜，影響台灣的天氣系統如颱風、西南氣流等，與地形交互作用下，在山區或坡地常常有強降水事件發生，導致土石流或暴洪等災害。本年的計畫則擬於此類天氣現象，在花東縱谷地區觀測降水，並測試去除地形影響的方法。

3.1 工作項目與方法步驟

以下三項為本計畫今年的主要工作項目及各項目的方法步驟：

3.1.1 尋找進行山坡地形降水觀測之適當觀測站址

- (a) 針對各選擇地點進行覆蓋範圍計算模擬。
- (b) 在今年度預計一次，約 3-4 天的觀測計畫。
- (c) 在台東觀測期間除選擇地點外，亦可前往數個可能站址進行覆蓋範圍掃描。

3.1.2 在不同降雨強度下測試去除地形保留降水資訊的各種方法

氣象雷達因設置位置之地形因素，時常受地形遮蔽效應及周邊地形、地物，及各類非氣象雜訊干擾，而台灣屬於多山的地理環境，在天氣系統及地形的交互作用下，在山區或坡地常常有降水事件發生，在山區觀測時降水訊號與地形雜訊經常會混在一起，造成雷達資料品質不佳，因此如何在地形附近將地形雜訊去除保留降水資訊，至今仍是重要的研究課題之一。

(a) Doppler velocity spectrum notch

此種方法是都卜勒雷達發展很久去地形的基本功能，利用地形回波的都卜勒

風場接近零，而地形訊號強度又很強情況下，直接從都卜勒波譜的中心地區，加上過濾功能去除地形，稱之為波譜缺口(spectrum notch)，然後再利用內插方式將波譜兩側的點用線性內插作為氣象訊號(weather signal)的修補，此方法缺點在於波譜缺口寬度的決定，太大太小都可能產生錯誤資訊，太大可能過濾掉有意義的氣象訊號;太小則可能留下地形雜訊，往往需要作業單位透過經驗累積尋找適當的缺口寬度。詳細方法見附件一。

(b) Gaussian Model Adaptive Processing (GMAP)

此方法為較先進的地形過濾方法(Hildebrand and Sekhon, 1974、Doviak and Zrnich, 1993)，利用對於地形雜訊波譜寬特性的了解(Sirmans and Bumgarner, 1975、Ice et al., 2004)，一般地形雜訊的波譜寬小於氣象訊號的波譜寬，進行適當的過濾，並且利用都卜勒波譜的強度分布，有能力分辨一般雜訊與地形雜訊，透過這些對波譜的了解並根據信號當時特性，先進行都卜勒波譜中心地區適當的窗口地形波譜的高斯分布來過濾，接著利用氣象信號應呈現高斯分佈的特性，補回氣象訊號在中心地區的強度，這幾個步驟經過數次反覆計算後，完成去除地形的波譜此方法與 Doppler velocity spectrum notch 的主要差異即為高斯分佈的補回與線性內插的補回。此方法根據國外的文獻，在地形影響很小時不會過度的過濾信號;而在地形影響很大的時候去除地形影響後仍可補回氣象回波強度，此方法近乎全自動的技術，但仍須在實際個案中詳細測試其功能。由於氣象局五分山雷達及 TEAM-R 雷達都具有此項功能，因此本計劃嘗試以 TEAM-R 雷達測試此方法在山坡上的功能，並與雨量站比較，驗證補回氣象訊息後雷達降雨估計的正確性。詳細方法見附件二。

(c) 雙偏極化雷達參數方法

雙偏極化都卜勒雷達在信號處理上，有數種不同在地形上去除地形回波及保留降水訊息的方法，雙偏極化雷達參數分析不同水相及各種雜訊，可以較精準的去除雷達資料中非天氣現象之雜訊，建立去除雜訊之流程，此步驟對於雷達降水估計及 資料同化進入數值模式都十分重要。這一部分的工作在國際雷達氣象的

研究領域，正積極進行中，未來本計劃將與國外此方面研究人員合作研發適合台灣降水系統及地理環境特性之先進雷達資料品質改善能力。圖 6 為採用偏極化參數去除非氣象資訊的一個結果。對於偏極化雷達而言，在判定非氣象回波時(Z_T ，圖 6a)時，通常是利用相關係數(ρ_{HV} ：Correlation coefficient，圖 6b)，當雷達觀測到的是純水或純冰時， ρ_{HV} 值會在 0.9 以上甚至趨近於 1，但對於非氣象資訊來說， ρ_{HV} 值就會低於 0.9 以下，例如像在雷達附近觀測到的回波值高達 40dBZ 以上，但其相對的 ρ_{HV} 值大多都在 0.9 以下，由此判斷這些強回波並非是氣象資訊，而是地形所造成的強回波，因此透過 ρ_{HV} 這個參數可以將這地形回波去除，並且對於它的雜訊也可去除的很乾淨，只保留氣象資訊下來(圖 6c)。

而在本計劃中便是使用相關係數 ρ_{HV} 處理資料，並將處理後的結果去與 GMAP 方法及 Doppler velocity spectrum notch 方法比較，目的在找出最佳的去除地形的作業方式。

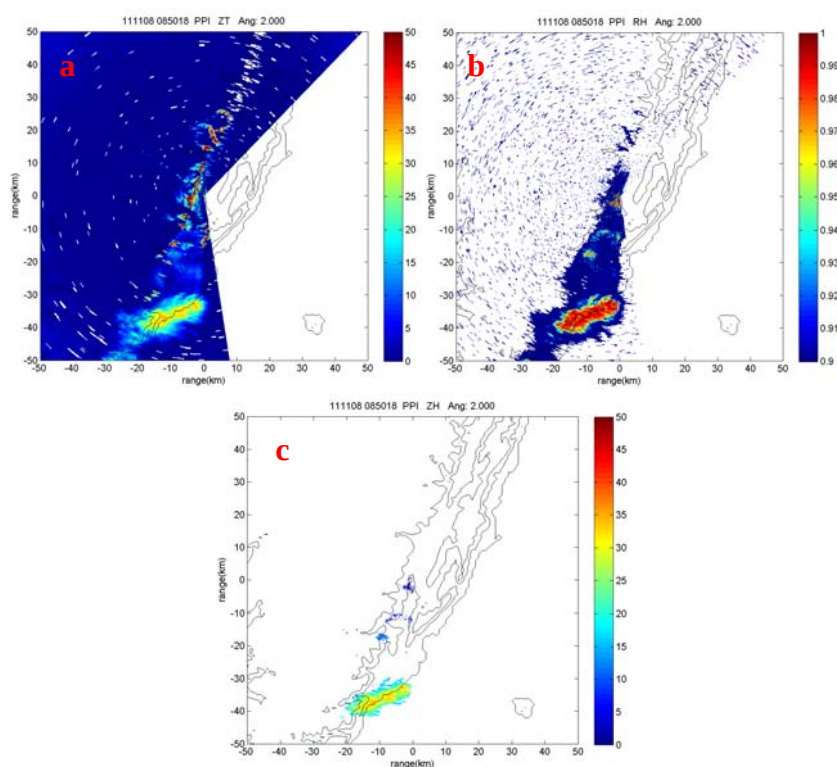


圖 6：採用偏極化參數去除非氣象資訊的結果。(a)原始回波、(b)相關係數、(c)處理後的回波。

3.1.3 對各種方法的結果進行分析並建立最佳的去除地形的作業方式

- (a) 為花東縱谷地區建立雙偏極化都卜勒氣象雷達觀測資料記錄，找尋適合的觀測地點。
- (b) 分析在不同的天氣型態下，雙偏極化都卜勒氣象雷達在不同的信號處理方式上其差異及表現。
- (c) 利用分布在花東縱谷的氣象局雨量站資料，評估在利用不同信號處理方式處理後的雷達資料，在降水估計的精確度的表現，找出最佳的去除地形的的方法。

3.2 野外觀測規畫

由於台東路途遙遠，依據本計畫的經費預計可進行 1 次 5-7 天的觀測，預訂在颱風期間選擇合天氣事件進行野外觀測。觀測地點包括：鹿野台地及舞鶴台地，其中之一或兩個地點分別觀測，在人員及儀器安全考量下，仔細評估天氣系統做最佳化的選擇。觀測目標為：

- (1) 梅雨或颱風季節：選擇在鹿野台地或舞鶴台地進行不同的區塊掃描及垂直剖面掃描(RHI)。
- (2) 更換不同去地形策略。
- (3) 密集降雨估計：利用鹿野附近的紅葉山測站及池上測站(圖 7)，或舞鶴附近的玉里測站(圖 8)、大農測站、立山測站及高寮測站做驗證。並商借中央大學雨滴譜儀設置在掃描區內。



圖 7：鹿野台地至池上測站距離及垂直剖面示意圖。圖左為鹿野台地、
圖右為池上測站。

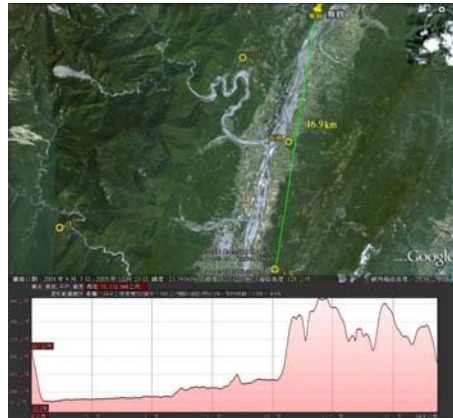


圖 8：舞鶴台地至玉里測站距離及垂直剖面示意圖。圖左為舞鶴台地、
圖右為玉里測站。

(4) 如本年計畫野外觀測時無明顯降雨，則進行站址探勘，並選擇其它坡地完成
去除地形回補氣象信號及降雨估計檢驗。

本計劃在今年 6 月已完成台東觀測地點選址及場勘，於卑南鄉至關山鎮沿線
探勘，共六處(表一、圖 9)。經勘查及覆蓋範圍數值模擬(圖 10 和圖 11，報告中
只秀台東縣關山鎮電光部落社區的結果，其餘請參照都卜勒雷達與偏極化雷達在
地形上改善降水觀測方法之研究期中報告)計算後，預定於台東縣關山鎮電光部
落社區（GPS 位置 23° 0'35.22"北 121°10'19.12"東 海拔 215 公尺），此地點位於
田間，為開闊地形，可觀測較大範圍的花東縱谷西側地形，而僅有一電線杆及矮
房舍遮蔽，且觀測地點環境條件適合觀測作業及相關後勤作業。

表一：台東觀測地點選址及場勘結果，共六處。

地點	勘查結果	評估
初鹿牧場後方丘陵高點	路況不良、視角有限、前方龍過脈地形及左右遮蔽	不適合
地母八卦廟	左右地形遮蔽視角有限、方位朝東非科學目標	不適合
鹿野高台飛行傘跳台 1 和 2	左右地形遮蔽，方位朝東非科學目標。	不適合
電光社區田間	視角寬廣、方位適合、除一小建物及一電線桿外無遮蔽，聯外路況佳及附近生活機能適合（近關山市區）	適合
電光大橋旁堤防	方位與電光社區田間相近，於堤防坡上小平台，聯外路況佳及附近生活機能適合（近關山市區）但需移除前方樹林阻擋。	較不適合（可當備用地點）

面示意圖如圖 13 至圖 17 所示，圖中可知從 TEAM-R 至池上、鹿野與紅葉山的沿線是沿著山坡而上升的，沿途並無較高的地形阻檔；而 TEAM-R 至太麻里與明里的沿線途中則有相對較高的地形阻檔，不過這兩站相對於 TEAM-R 的距離是較遠的，以 Bolcking map 的結果(圖 11)來看對於這兩個地方，大約以 1.5° 至 2° 以上的仰角做掃描即可過山，且 Beam 與地面的高度差也在 1000m 以內，因此在本此觀測中 TEAM-R 的位置是一個不錯的觀測點，實際的觀測結果可見圖 18 至圖 20，在圖 18 中的紅圈處，TEAM-R 的觀測是有受到一些地形的影響，不過山後太麻里上空的系統還是可以被抓到，在經過 $\rho_{HV}=0.7$ 的處理地形回波和雜訊都已被去除(圖 19)；到了 3° 仰角的資料，近太麻里地區的地形影響幾乎都沒了，而同樣經過 $\rho_{HV}=0.7$ 的處理後，資料的地形回波和雜訊部份都已完全被去除(圖 20、21)。



圖 12：TEAM-R 位置至各自動雨量站的相對位置及距離圖。



圖 13：TEAM-R 至太麻里測站的垂直剖面示意圖。

圖左為太麻里測站、圖右為 TEAM-R 位置。



圖 14：TEAM-R 至池上測站的垂直剖面示意圖。

圖左為池上測站、圖右為 TEAM-R 位置。

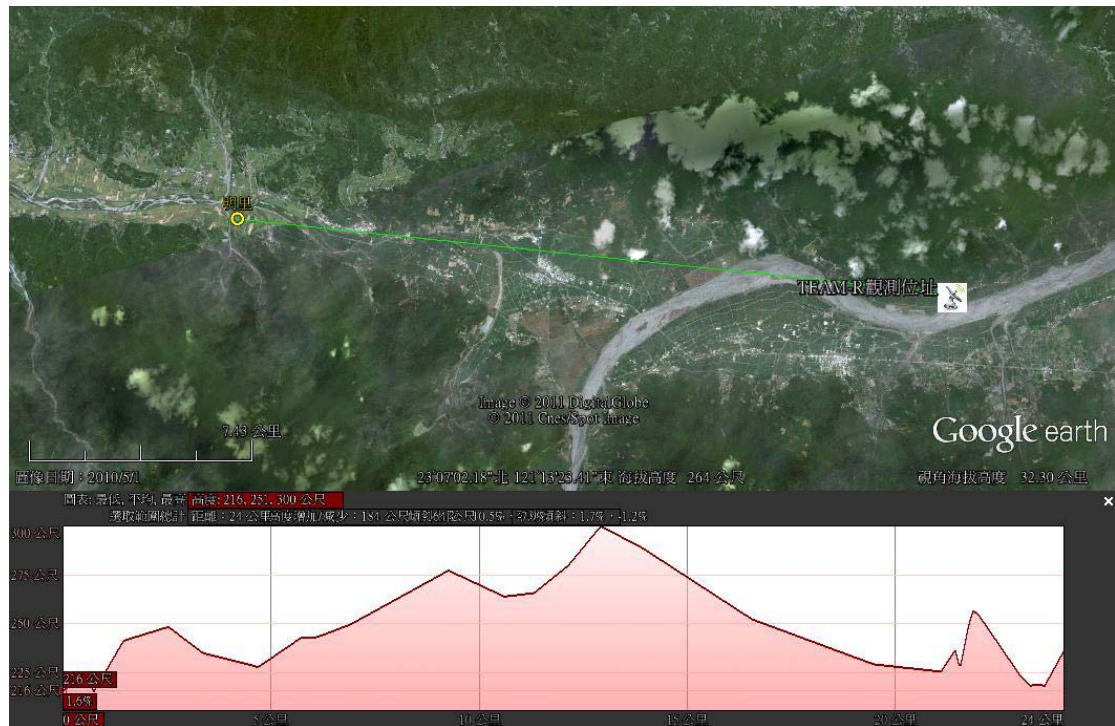


圖 15：TEAM-R 至明里測站的垂直剖面示意圖。

圖左為明里測站、圖右為 TEAM-R 位置。

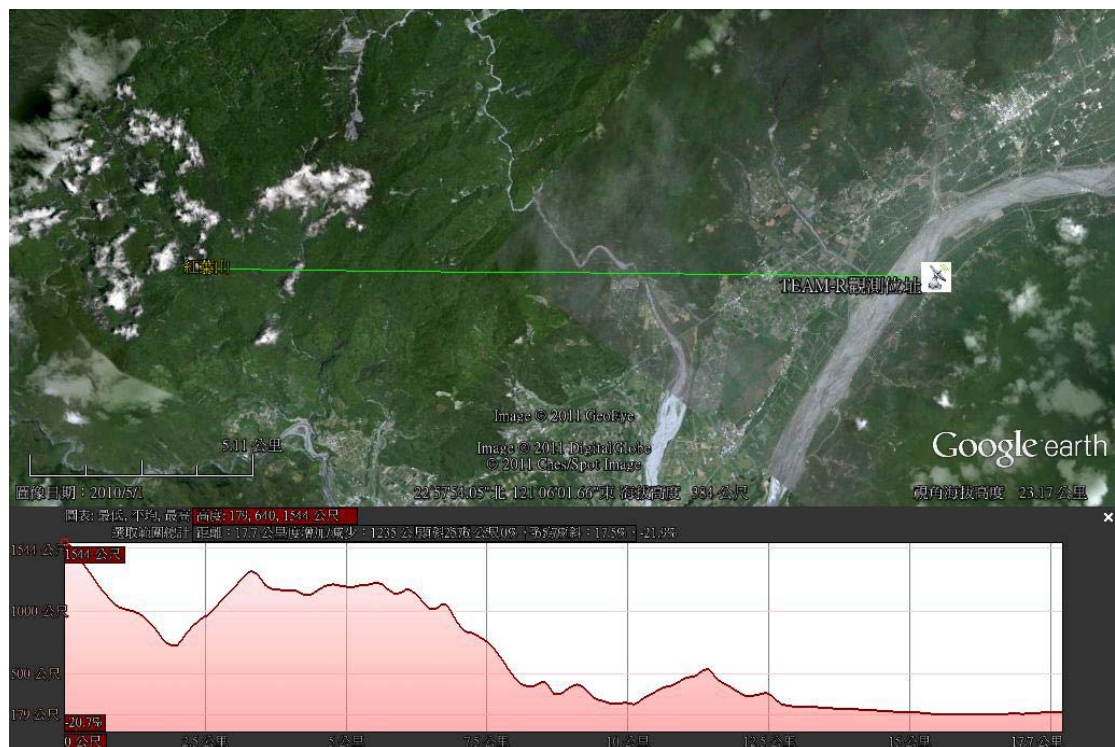


圖 16：TEAM-R 至紅葉山測站的垂直剖面示意圖。

圖左為紅葉山測站、圖右為 TEAM-R 位置。

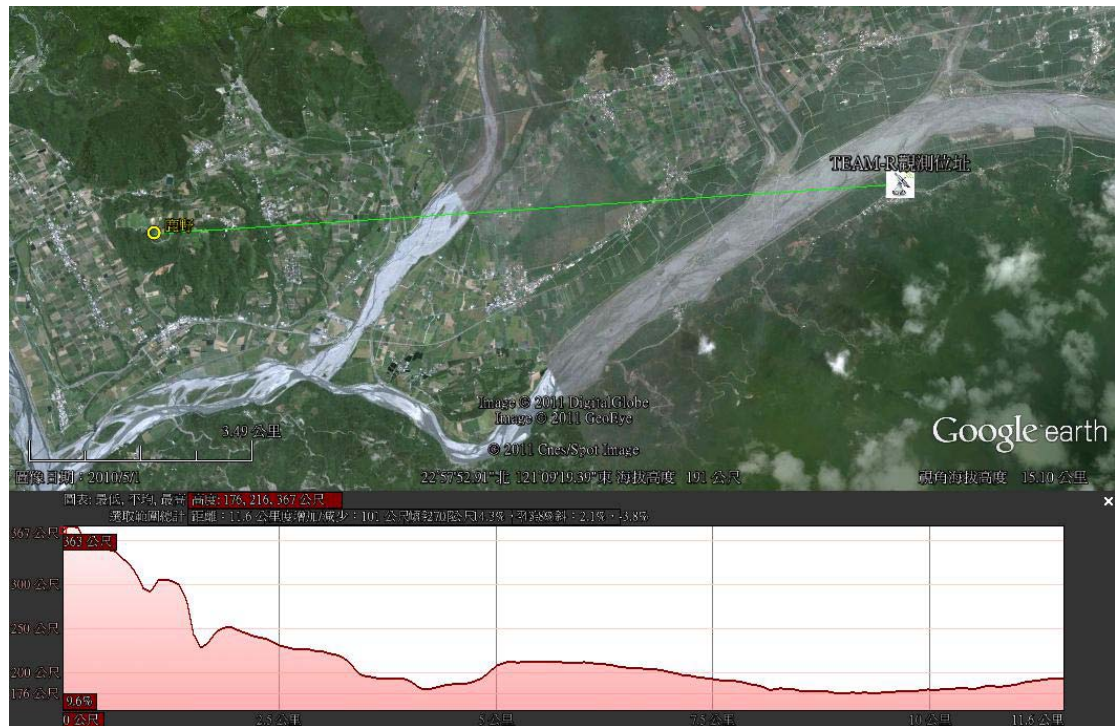


圖 17：TEAM-R 至鹿野測站的垂直剖面示意圖。

圖左為鹿野測站、圖右為 TEAM-R 位置。

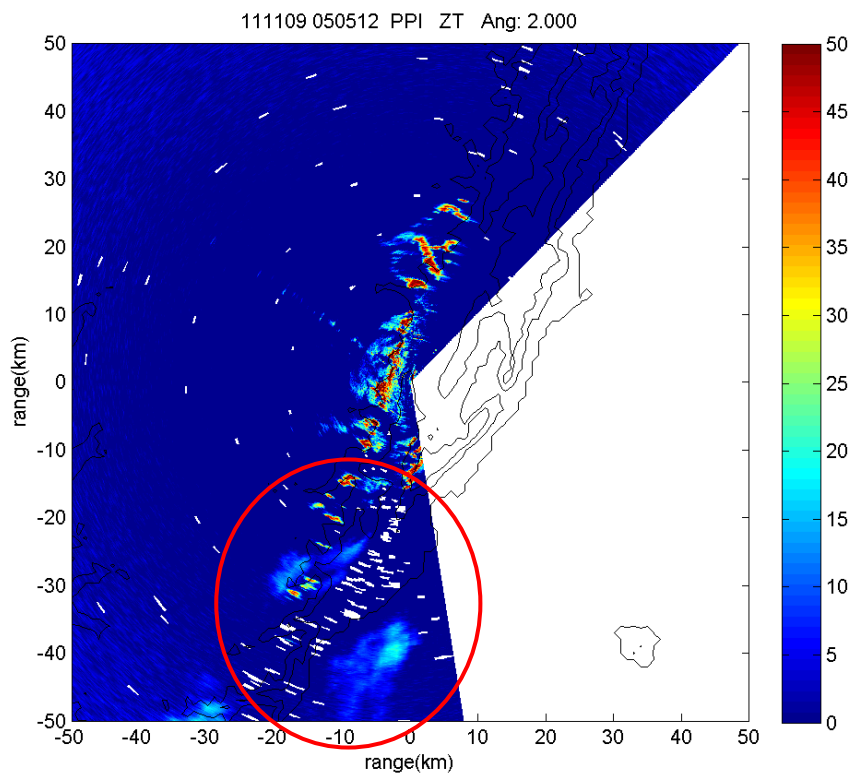


圖 18：11 月 9 日 050512 UTC 的 2°仰角全回波圖。

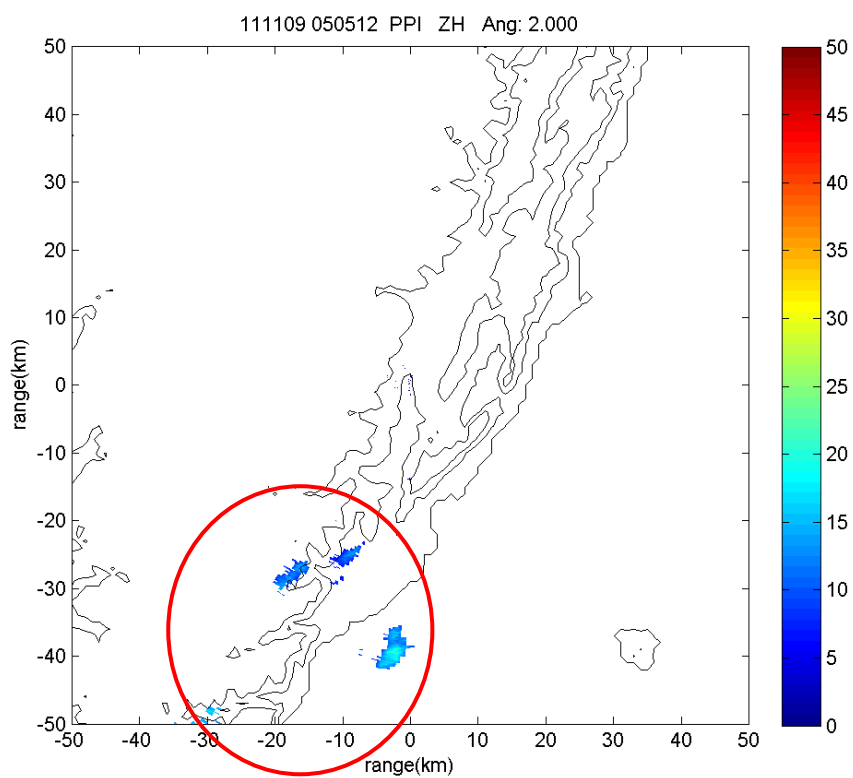


圖 19：11 月 9 日 050512 UTC 利用 $\rho_{HV}=0.7$ 處理後的 2° 仰角回波圖。

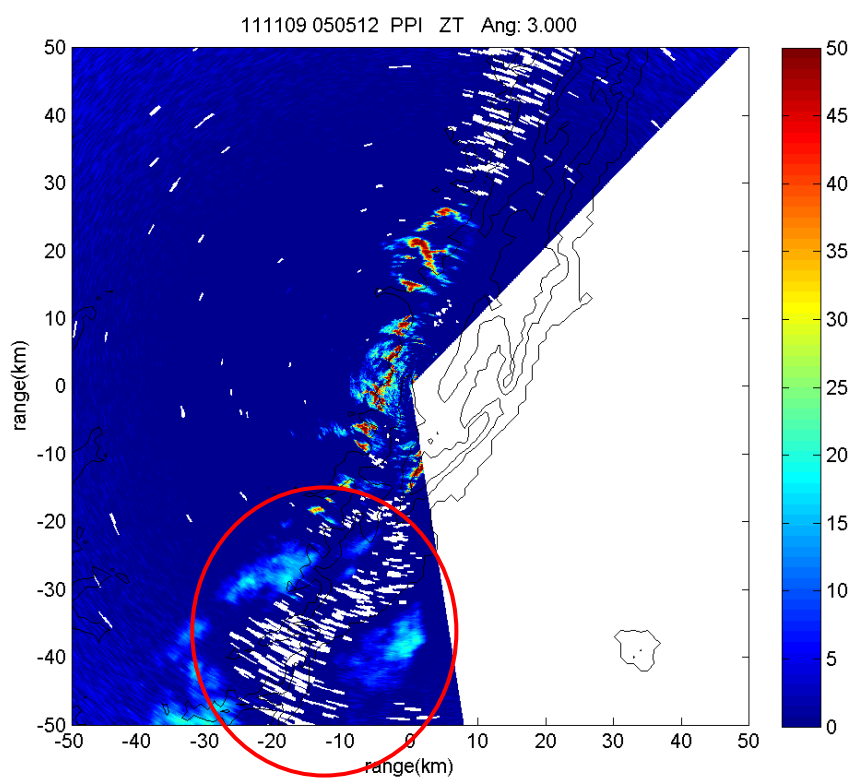


圖 20：11 月 9 日 050512 UTC 的 3° 仰角全回波圖。

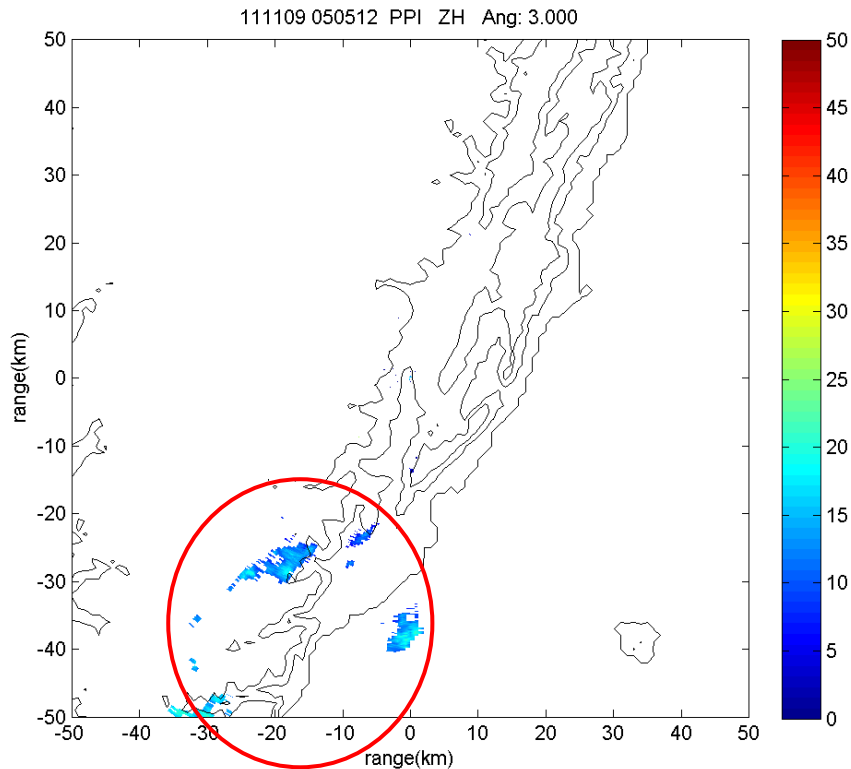


圖 21：11 月 9 日 050512 UTC 利用 $\rho_{HV}=0.7$ 處理後的 3° 仰角回波圖。

TEAM-R 於今年暑假進中科院進行天線升級改造測試作業，並於今年 10 月份改造測試完成，因此訂於今年 11 月初前往台東縣關山鎮電光部落社區觀測。

3.3 觀測策略

以下為達到計畫目標所設計之觀測策略：

1. 測試不同信號處理方式的策略包括 Doppler velocity spectrum notch、Gaussian Model Adaptive Processing(GMAP)及雙偏極化雷達參數法。
2. 在觀測時需交替 FFT mode 以及 PPP mode，因為 GMAP 只能在 FFT mode 進行而偏極化參數則須在 PPP mode 進行，來做兩種方法的比對。
3. 在選定的坡地區域，以非常緩慢的速度做非常細密的垂直剖面掃描(RHI)，獲得高解析度的雷達資料，並進行較低層而垂直上密集的扇形掃描(sector)。

為了上述科學目標，在 11 月 7 日至 11 月 10 日期間，將 TEAM-R 架設在台東關山鎮電光村(北緯 23.00977° ；東經 121.17233° ；高度 216m)進行觀測，觀測

期間設計了多組的掃描策略，以 PPI 方式針對花東縱谷、太麻里一帶($170^{\circ}\sim 45^{\circ}$) 進行掃描，了解大範圍不同信號處理方式，在去除地形回波時的差異；以 RHI 方式針對氣象局佈置在花東縱谷及太麻里一帶的自動雨量站(方位角分別為 $10^{\circ}\sim 16^{\circ}$ 、 $199^{\circ}\sim 204^{\circ}$ 和 $218^{\circ}\sim 222^{\circ}$ 間隔 1°)上空進行觀測，測試不同信號處理方式，在垂直上去除地形回波的結果差異。並將處理後的資料作定量降水估計與地面站做驗證，來找出最佳的去除地形的的方法。詳細的掃描策略內容如表二所示。

表二：TEAM-R 台東電光村觀測掃描策略

2011 台東電光村(經度：E121.17233；緯度：23.00977；高度：216)					
日期	時間(UTC)	掃描策略	方位角($^{\circ}$)	仰角($^{\circ}$)	附註
11 月 8 日	025954	Vertical pointing	Full	80, 85, 90	
	035032	T_SEC_S_P		0.5、1、1.5、2、3、 4、5.5、7、8.5	Blanking Angle： 1.AZ:45~170；EL:-5~50 PRF：600Hz Max Range：245km Unamb Range：249.8km
	062016	RHI SCAN	10~16(int1)		Dual PRF High PRF：600 Low PRF：480 Sample：128 Filter Dop：3
	071347	T_SEC_S_P			PRF：600Hz Sample：64 Filter Dop：3
	073747	RHI SCAN	199~203(int1)		Filter Dop：3 Mode：PPP
	074514				停止 RHI SCAN 更改仰角 EL：0~30
	074542	RHI SCAN		0~30	
	075854	RHI SCAN	200~204(int1)		改 GMAP Filter Dop：6 Mode：FFT
	082230				停止 RHI SCAN 更改設定 Filter Dop：3 Mode：PPP
	082946	RHI SCAN	200~204(int1)		

	084153	T_SEC_S_P			同上
	085912	T_SEC_S_P			改 GMAP Filter Dop : 6 Mode : FFT 掃一筆後停止觀測
	231103	Vertical pointing		80, 85, 90	
	232327				停止 Vertical pointing 更改 EL : 90
	232522	Vertical pointing			
	234506				停止 Vertical pointing
	234637	T_SEC_S_P			Filter Dop : 3 Mode : PPP
11 月 9 日	011038	Vertical pointing			停止 T_SEC_S_P 開始 Vertical pointing
	012308	T_SEC_S_P			改 GMAP 停止 Vertical pointing 開始 T_SEC_S_P Filter Dop : 6 Mode : FFT
	021329				停止 T_SEC_S_P 作 Suncal 231103 至 021329 UTC 資料 方位需減 0.3°
	024037	T_SEC_S_P			Filter Dop : 3 Mode : PPP
	033150	Vertical pointing			
	034011	T_SEC_S_P			改 GMAP Filter Dop : 6 Mode : FFT
	044717				停止 T_SEC_S_P 更改設定 Filter Dop : 3 Mode : PPP
	044805	T_SEC_S_P			
	053833	RHI SCAN	218~222(int1)		同前一次 RHI 掃描
	055825	T_SEC_S_P			Filter Dop : 3 Mode : PPP
	064030	RHI SCAN	10~15(int1)	0~30	Mode : PPP Sample : 64

					Filter Dop : 3
	064903				測試 GMAP 設定 Mode : FFT Filter Dop : 5
	065231				Mode : FFT Filter Dop : 6
	065533				Mode : FFT Filter Dop : 7
	065810	T_SEC_S_P			Filter Dop : 3 Mode : PPP
	070643	RHI SCAN	10~15(int1)		Mode : PPP Filter Dop : 3
	071808	T_SEC_S_P			同上
	040310				最後一筆，停機

3.4 雷達天線升級修改

TEAM-R 於今年暑假進中科院進行天線升級改造測試作業，本次天線系統 (包含前端饋源、至基座的導波管組) 的升級修改，主要在於導波管轉向設計以及波束型的調整。調整結果如下列圖所示：



圖 22：原導波管轉向方式，以直接在轉接盤面作無過渡性轉向。



圖 23：修改後轉向方式，以整體導波管體漸轉方式達成轉向目的。



圖 24：原天線前方元件配置結構，導波管曲折程度較大，支架以扁型立柱合成。



圖 25：更改後天線前方元件結構，導波管曲折程度較小，支架採圓管組成。

接下來看原芬蘭 Aerial Oy 公司出廠的波束型與修改後波束型比較：

✚ 原芬蘭 Aerial Oy 公司出廠的波束型圖

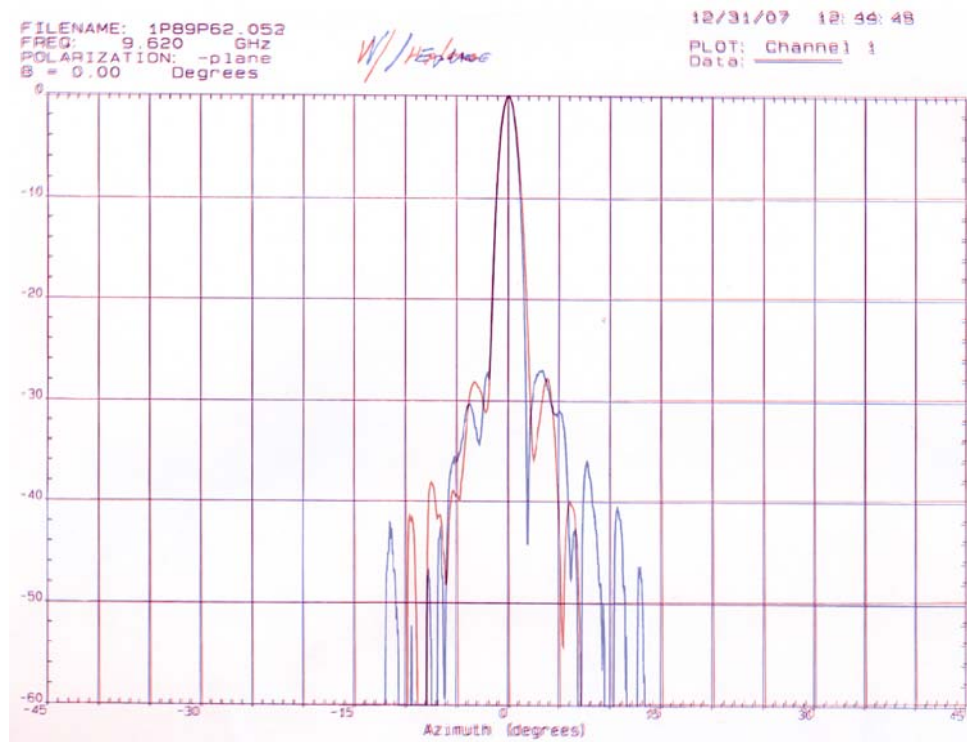


圖 26：垂直偏極發射，水平與垂直偏極接收圖表疊圖。

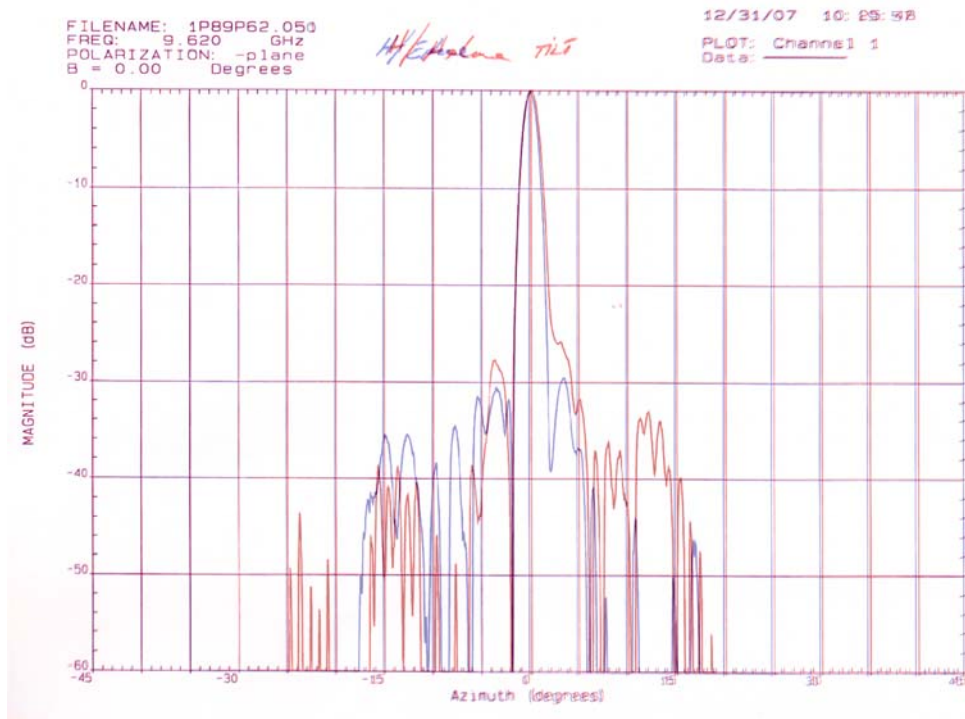


圖 27：水平偏極發射，水平與垂直偏極接收圖表疊圖。

🔧 升級改造過後的波束型圖

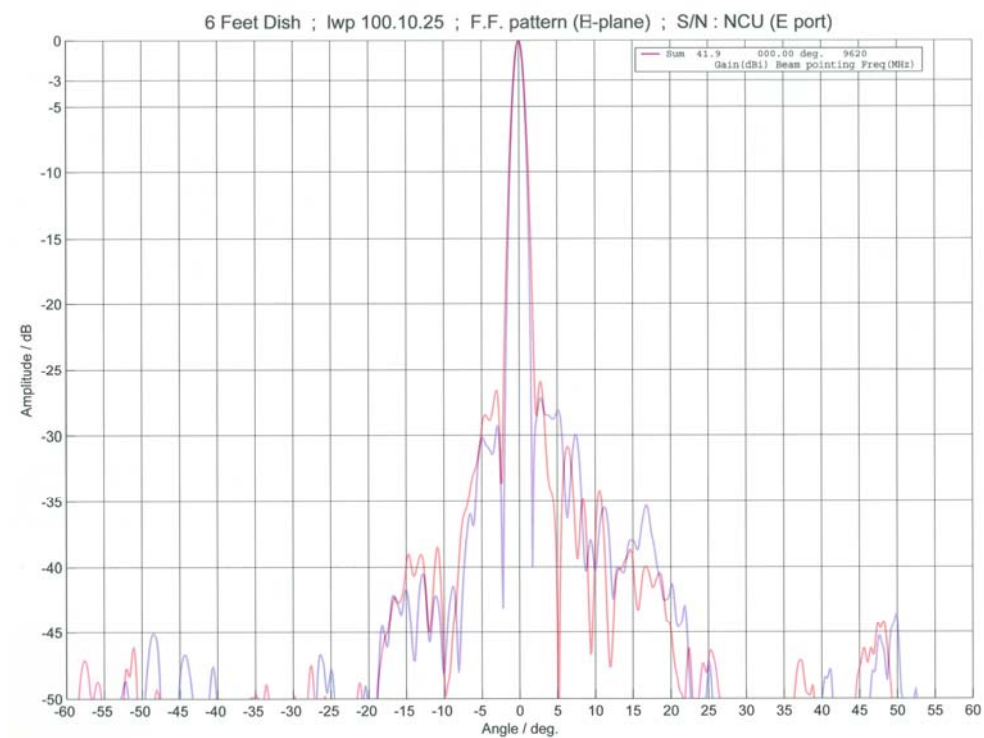


圖 28：垂直偏極發射，水平與垂直偏極接收圖表疊圖。

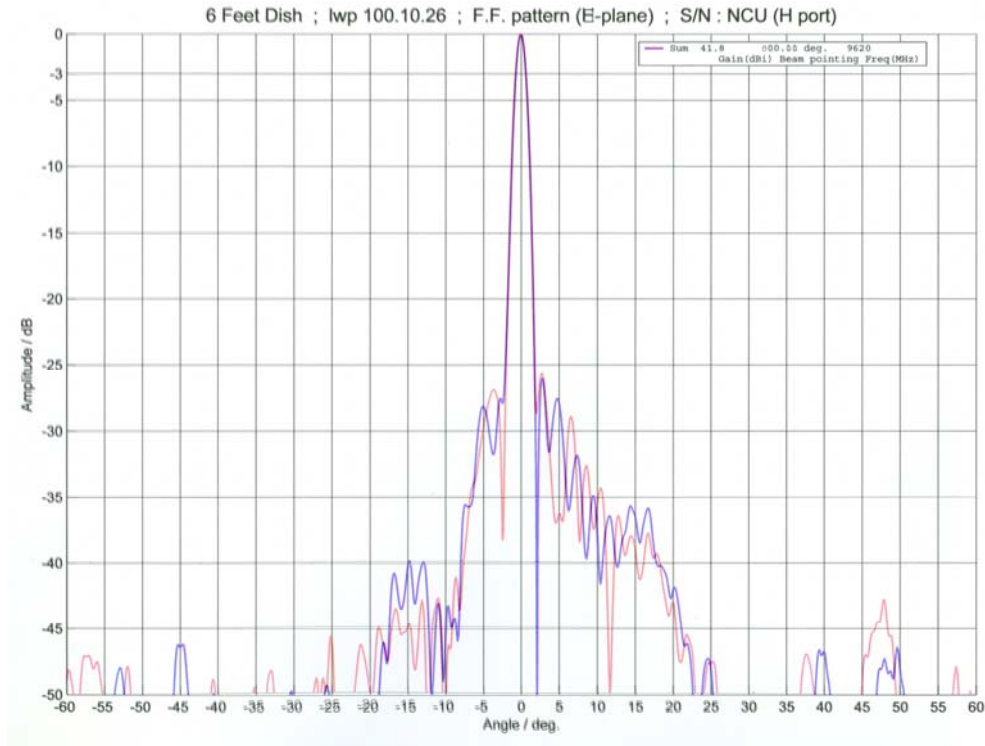


圖 29：水平偏極發射，水平與垂直偏極接收圖表疊圖。

由以上兩組疊圖比較，明顯可見修改過後的效果顯著：第二波瓣之後與主波瓣的強度落差增大，且整體波型對稱性較佳(紅藍色圖形較吻合)。

3.5 資料處理

- (1) 此次計畫資料依照不同觀測策略及資料品管設定來蒐集，野外觀測結束後也已詳細比對不同策略及設定的資料品質。
- (2) 比較 GMAP 方法、Doppler velocity spectrum notch 方法與使用 TEAM-R 雙偏極化(Dual pol mode) 雷達相關係數及差異相位差波譜寬過濾地形方法的限制及差異。
- (3) 利用氣象局地面雨量站進行 TEAM-R 對於降水系統降雨估計之評估，測試不同過濾地形方法的表現。

3.6 重要儀器之配合使用情形

本計畫最主要採用國科會支持之移動式偏極化式雷達，執行野外實際觀測，本計畫提供所需的人力資源及運轉的基本費用。需要與氣象局配合的同點作業與通訊整合測試會在計畫的開始執行後第一個月內與氣象局協調。

3.7 結果分析

3.7.1 GMAP 方法、Doppler velocity spectrum notch 方法和利用

偏極化雷達參數去除地形回波的結果比較 — PPI

本次觀測時間由 11 月 7 日至 11 月 10 日共四天，其中前後各 1 天為交通日，因此實際觀測日期為 8 日與 9 日。這次很幸運的在 11 月初可以有一個不弱的個案在台灣南邊形成，並影響台東地區，對於在比較不同去除地形回波方法的結果，應該是有所幫助。

首先就先來看 GMAP(在本次觀測 Filter Dop=6)的結果，如圖 30 所示，在 GMAP 觀測模式下 11 月 8 日 085918 UTC 不同仰角的雷達全回波圖(FZ_T)，圖中在近雷達位置有一帶較強的回波出現，其為地形回波並非為氣象訊號，圖的中下方強度在 20 至 30 dBZ 左右的回波為觀測到的天氣系統，其餘深藍色的部份則為雜訊，由圖中可知在仰角 0.5° 至 2° 的部分，雷達附近一直都有地形回波的干擾，在經過 GMAP 方法處理過的回波資料(FZ_H)，可看到在近雷達位置的地形回波已被去除了(圖 31)，部分的雜訊也有被去除，而氣象資訊則被完整的保留下來。

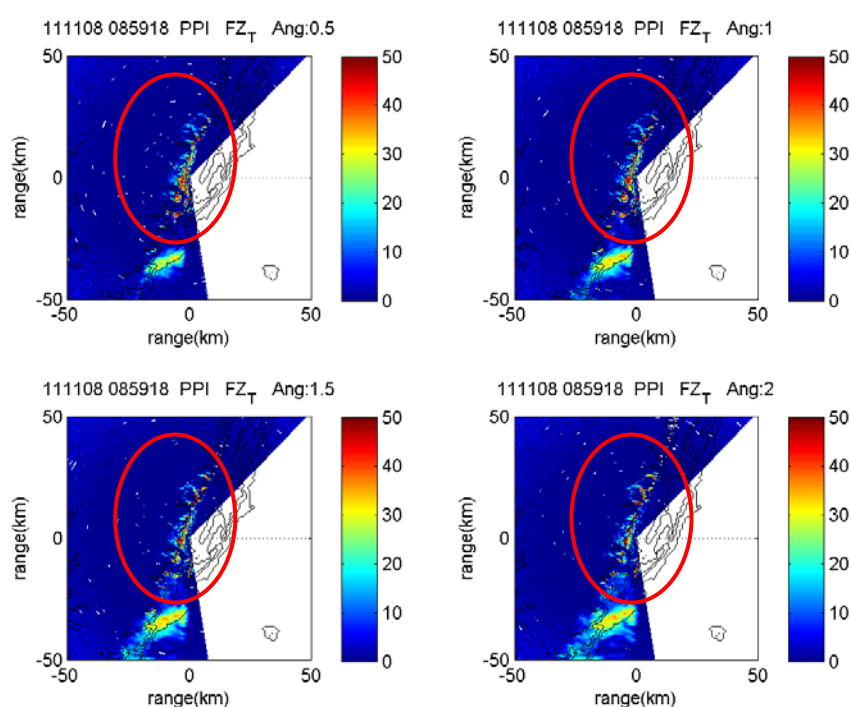


圖 30：085918 UTC 在 GMAP 模式下的全回波圖(FZ_T)，紅圈為地形回波。

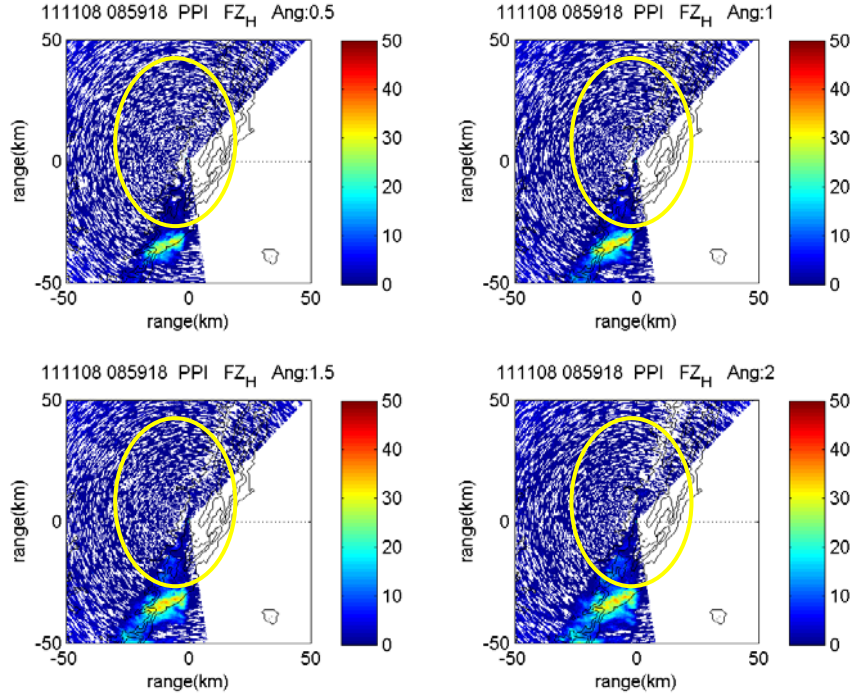


圖 31：085918 UTC 在經過 GMAP 方法處理後的回波圖(FZ_H)，

黃圈為原地形回波的位置。

在其它方法的部份，圖 32 為 085018 UTC 不同仰角在有觀測偏極化參數情況下的雷達全回波圖(PZ_T)，跟圖 30 一樣在近雷達位置有一帶地形回波出現，圖的中下方強度在 20 至 30 dBZ 左右的回波為觀測到的天氣系統，其餘則為觀測的

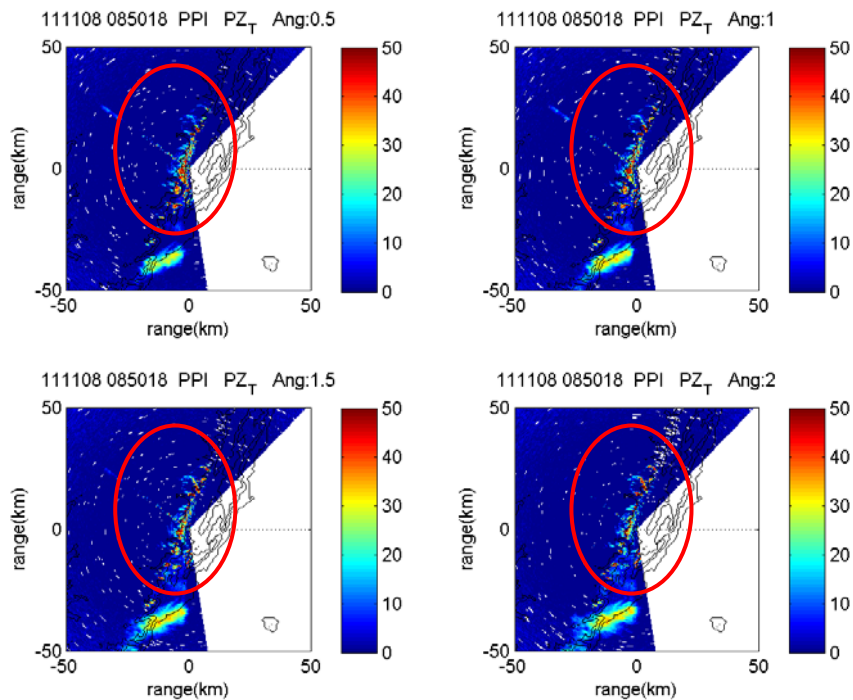


圖 32：085018 UTC 在偏極化參數觀測下的全回波圖(PZ_T)，紅圈為地形回波。

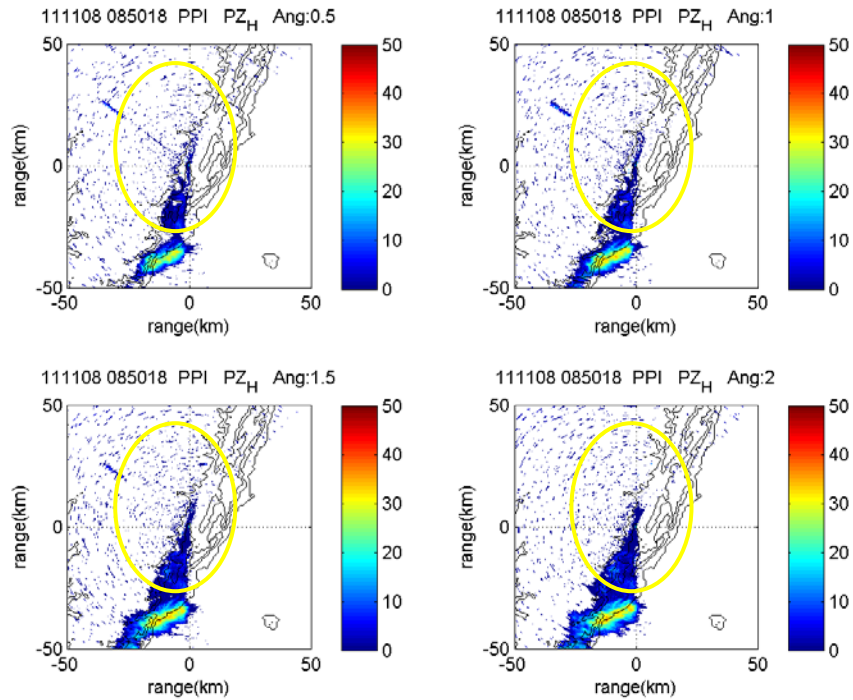


圖 33：085018 UTC 在經過 LOG & CSR 處理後的回波圖(PZ_H)，

黃圈為原地形回波的位置。

雜訊。經過 LOG & CSR(在本次觀測 LOG=0.5dB；CSR=30dB)處理後的回波資料 (PZ_H，圖 33)，同樣在近雷達的地形回波有被去掉了，而且大部份雜訊也被去除掉；而經過相關係數(ρ_{HV} ，這裡 ρ_{HV} 門檻值為 0.9，圖 34)處理後的回波資料(RZ_H，圖 35)，可發現地形回波及雜訊已

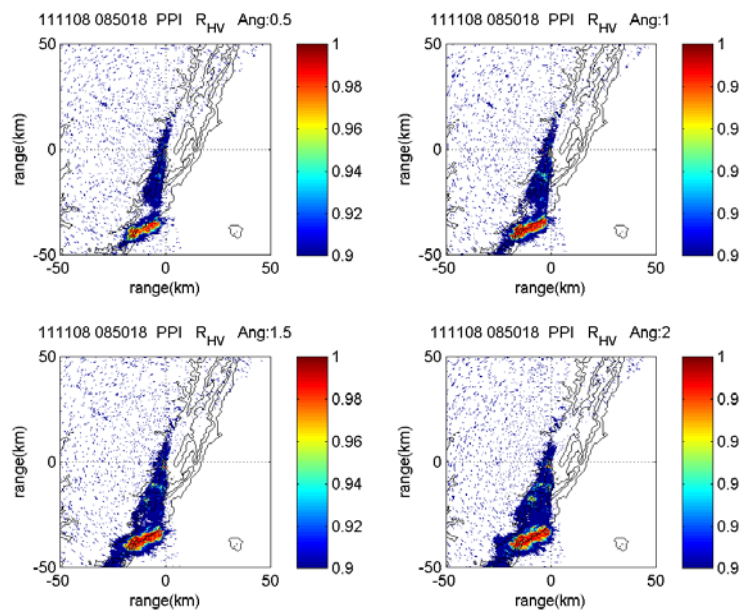


圖 34：085018 UTC 的相關係數(ρ_{HV})。

經完全的被去除，只剩下氣象資訊存在，去掉非氣象資訊的量明顯是比 GMAP 方法以及利用 LOG & CSR 去除地形回波及雜波的結果還來的多。

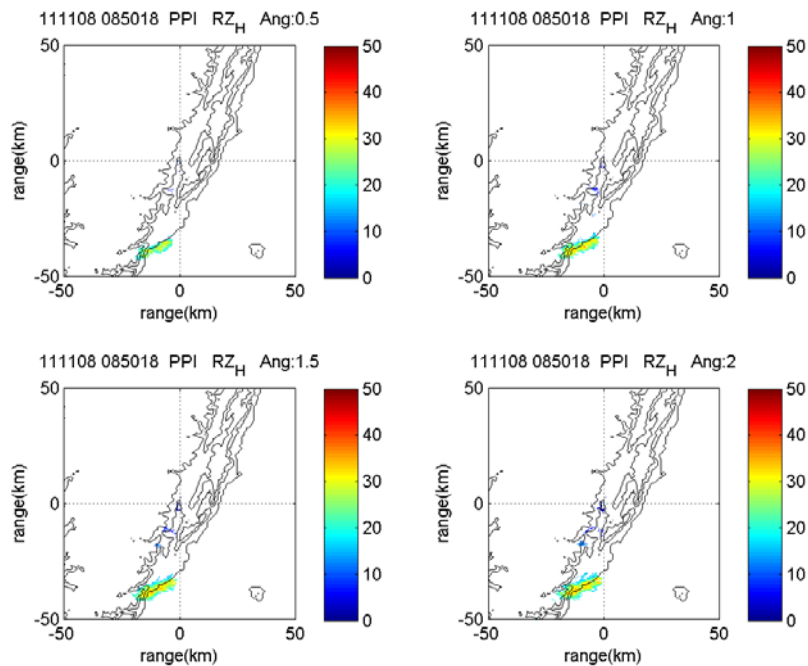


圖 35：085018 UTC 在經過 ρ_{HV} 處理後的回波圖(RZ_H)。

接下來就來看看這三種去除地形回波方法的差異，圖 36 至圖 38 分別為 FZ_T 減去 FZ_H、PZ_T 減去 PZ_H 以及 PZ_T 減去 RZ_H 的結果，圖中保留的部份為被不同的去除地形方法所去除掉的部份，保留的部份越多表示去除的部份也越多。從這三張圖的結果比較中，我們將圖 38 分別與圖 36 及圖 37 相減，得到圖 39 及圖 40，發現在去除地形回波及雜訊的部份，利用 ρ_{HV} 的結果其去除掉的地形回波及雜訊是最多的，得到的結果也是最乾淨的(圖 35)；而將圖 36 減去圖 37 可知(圖 41)，在去除地形回波的效果方面，GMAP 方法的結果是優於 LOG & CSR 處理的結果，去除掉的地形回波部份是較多的，得到的結果也較乾淨；然而相反的，在去除雜訊的部份，我們將圖 37 減去圖 36 可得到圖 42，可得知在這部份 LOG & CSR 處理的結果是優於 GMAP 方法的結果，明顯和去除地形回波的结果相反。而本計劃的目的是在探討不同去除地形回波而保留降水資訊的各種方法，以建立最佳的去除地形的作業方式，因此從目前去除地形回波的结果來看，利用 ρ_{HV} 的结果是去除掉最多的，其次是 GMAP 方法，最後則是 LOG & CSR 方法。

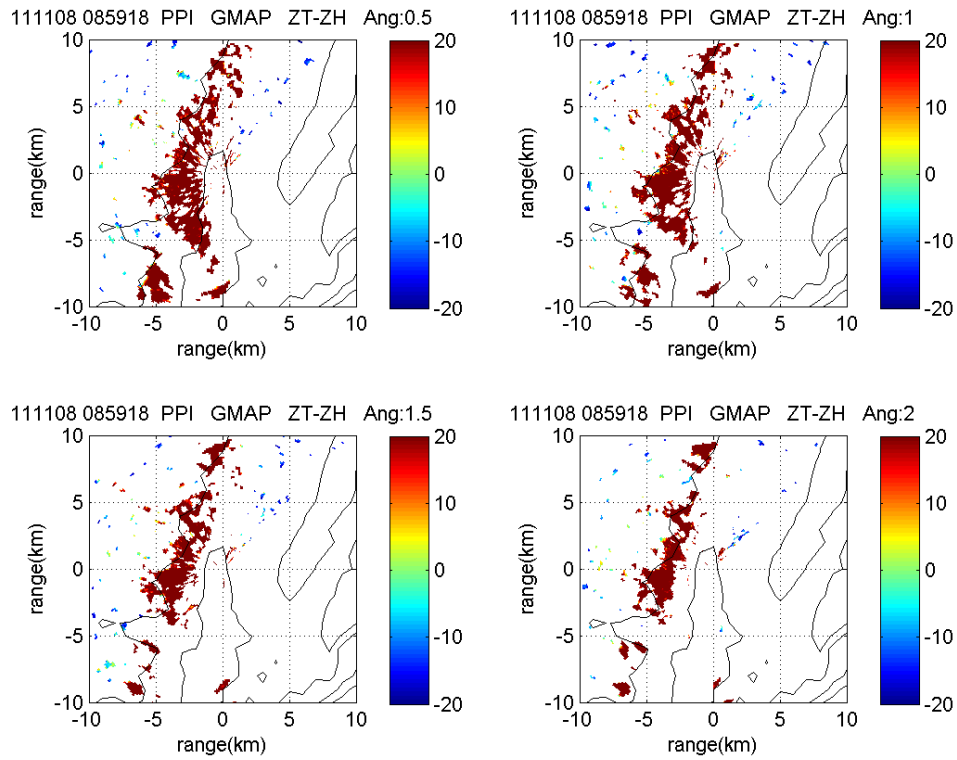


圖 36：為 FZ_T 扣掉 FZ_H 的結果，圖中保留的部份為被 GMAP 去除掉的部份。

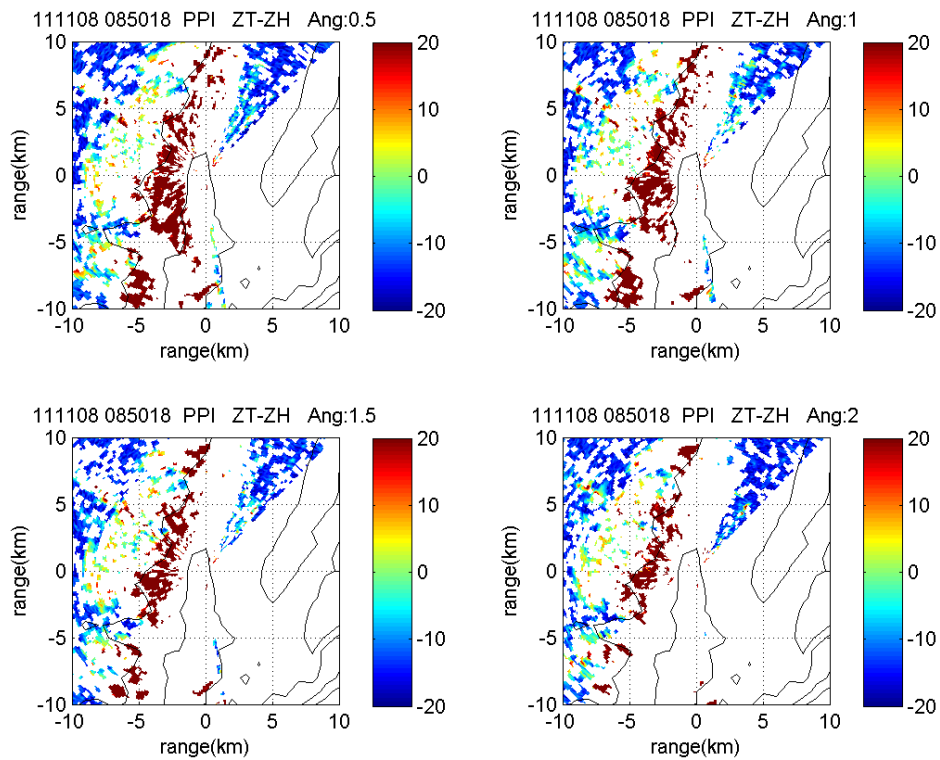


圖 37：為 PZ_T 扣掉 PZ_H 的結果，圖中保留的部份為經過 LOG & CSR 去除掉的部份。

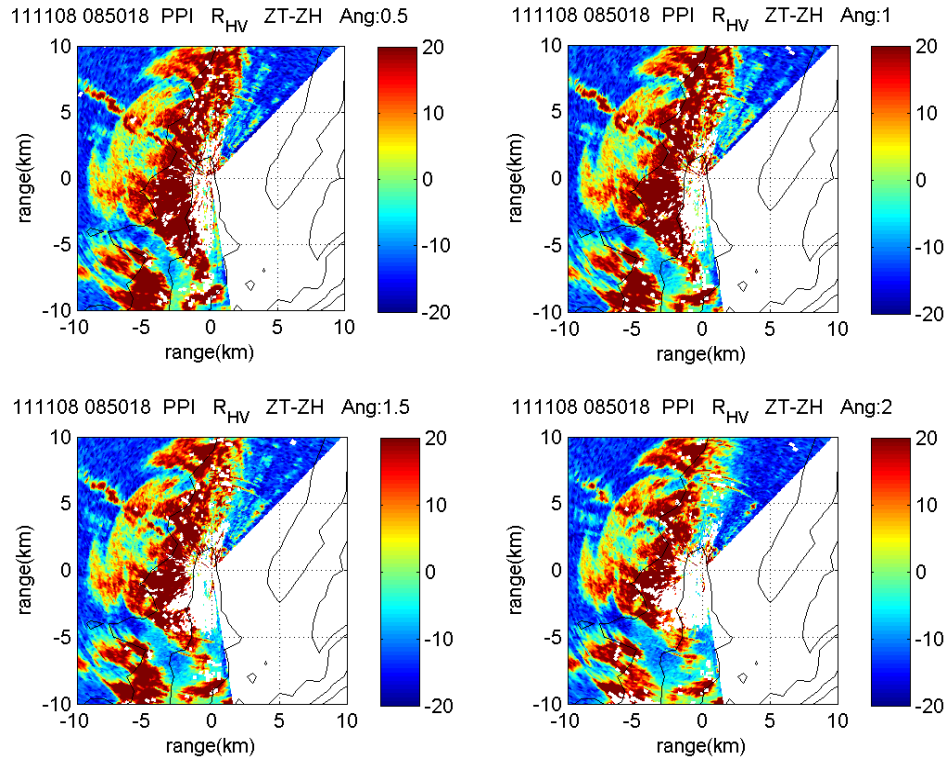


圖 38：為 PZ_T 扣掉 RZ_H 的結果，圖中保留的部份為利用 ρ_{HV} 去除掉的部份。

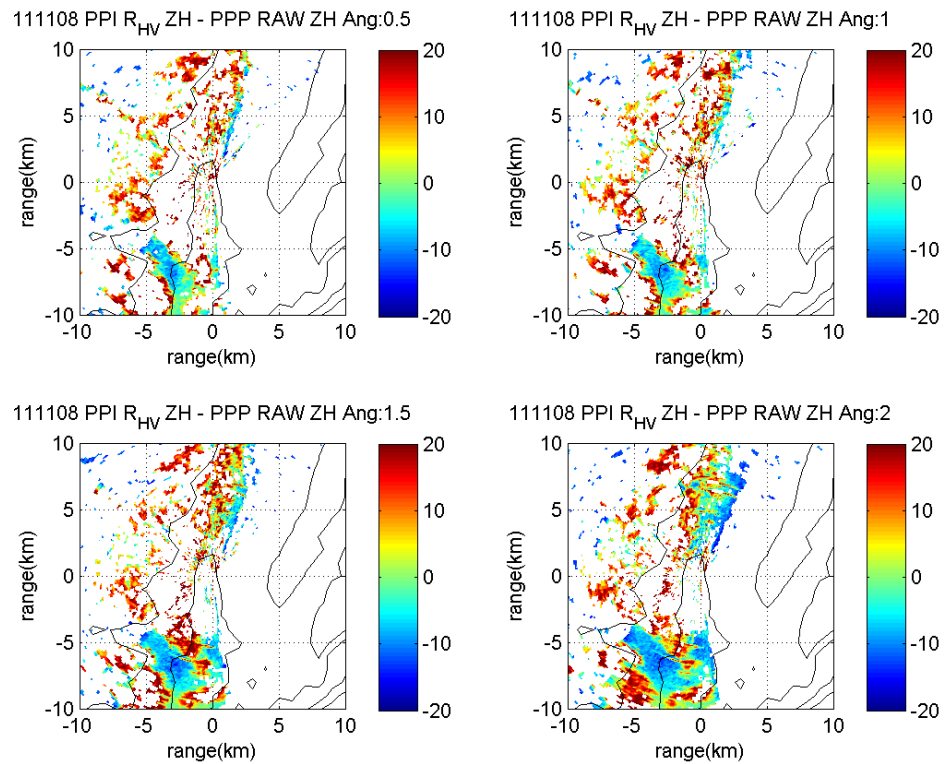


圖 39：為圖 38 扣掉圖 37 的結果，圖中保留的部份為只有 ρ_{HV} 有去除的部份。

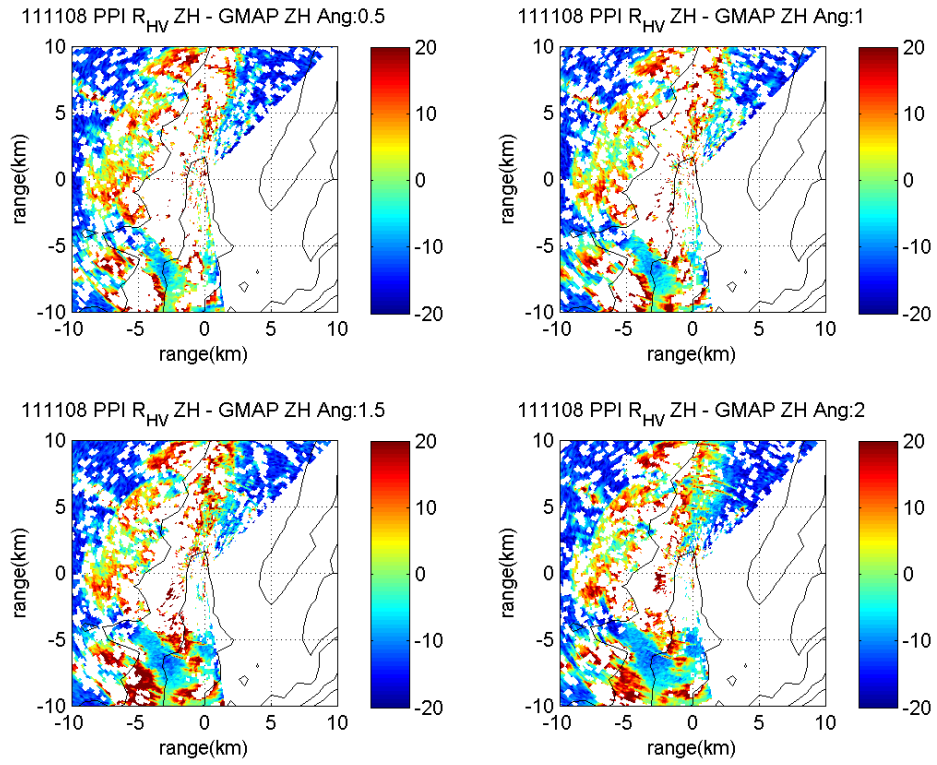


圖 40：為圖 38 扣掉圖 36 的結果，圖中保留的部份為只有 ρ_{HV} 有去除的部份。

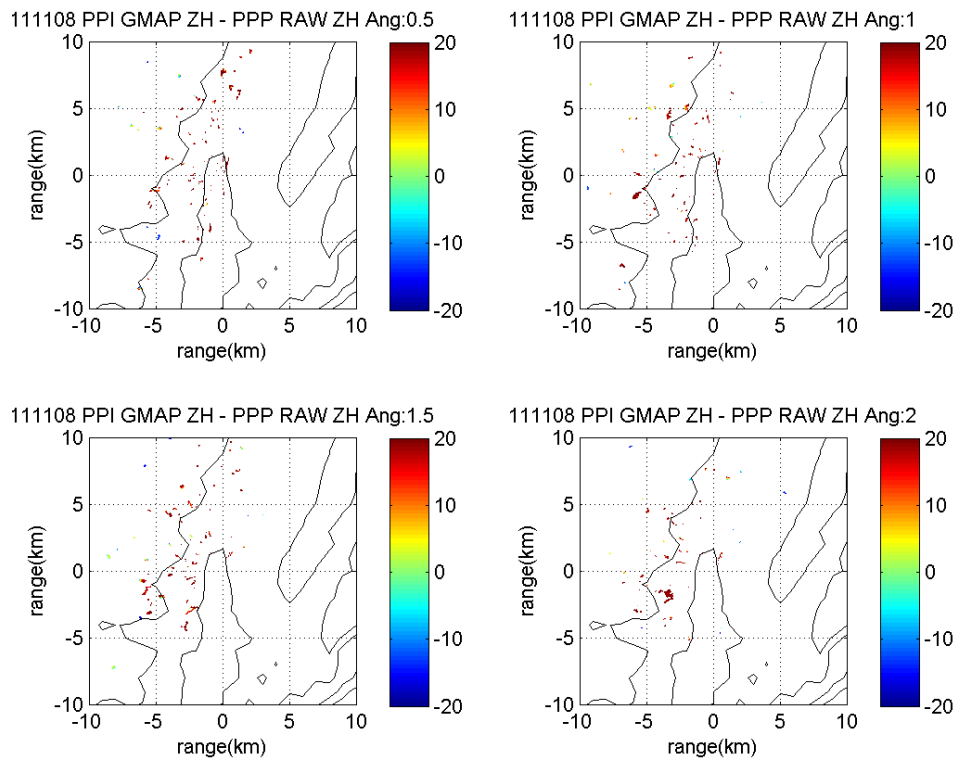


圖 41：為圖 36 扣掉圖 37 的結果，圖中保留的部份為只有 GMAP 有去除的部份。

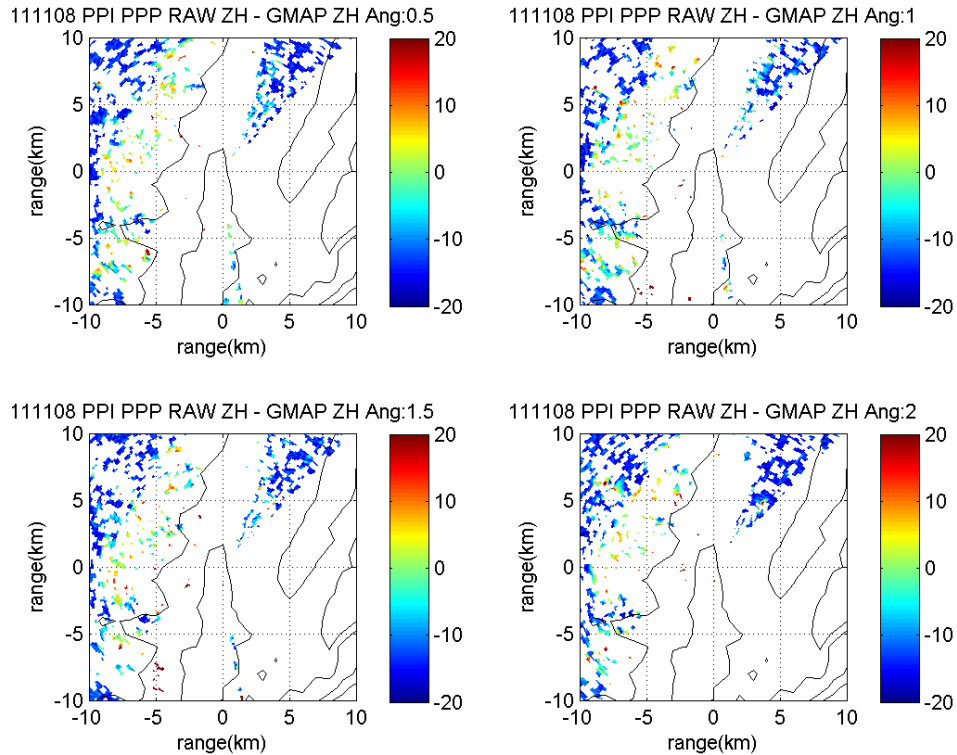


圖 42：為圖 37 扣掉圖 36 的結果，圖中保留的部份為只有 LOG & CSR 去除掉的部份。

另外在報告中還測試了不同的 ρ_{HV} 門檻值在去除地形回波及雜訊的效果，來和 GMAP 方法比較，發現當 ρ_{HV} 門檻值取 0.7 時，GMAP 方法的效果和利用 ρ_{HV} 的結果是最接近的。

3.7.2 GMAP 方法、Doppler velocity spectrum notch 方法和利用

偏極化雷達參數去除地形回波的結果比較 — RHI

在 RHI 的策略中，本次觀測同樣也測試不同的去除地形方法的效果，除此之外還測試在 GMAP 方法中，使用不同的 Filter Dop 值(本次觀測使用了 Filter Dop = 5、6、7 等三種)來去除地形回波，想來探討當利用不同的 Filter Dop 值時，其在過濾資料的效果如何，有什麼差異。

圖 43a 為 11 月 9 日 064542 UTC 方位角 11° 在有偏極化觀測下的全回波圖，

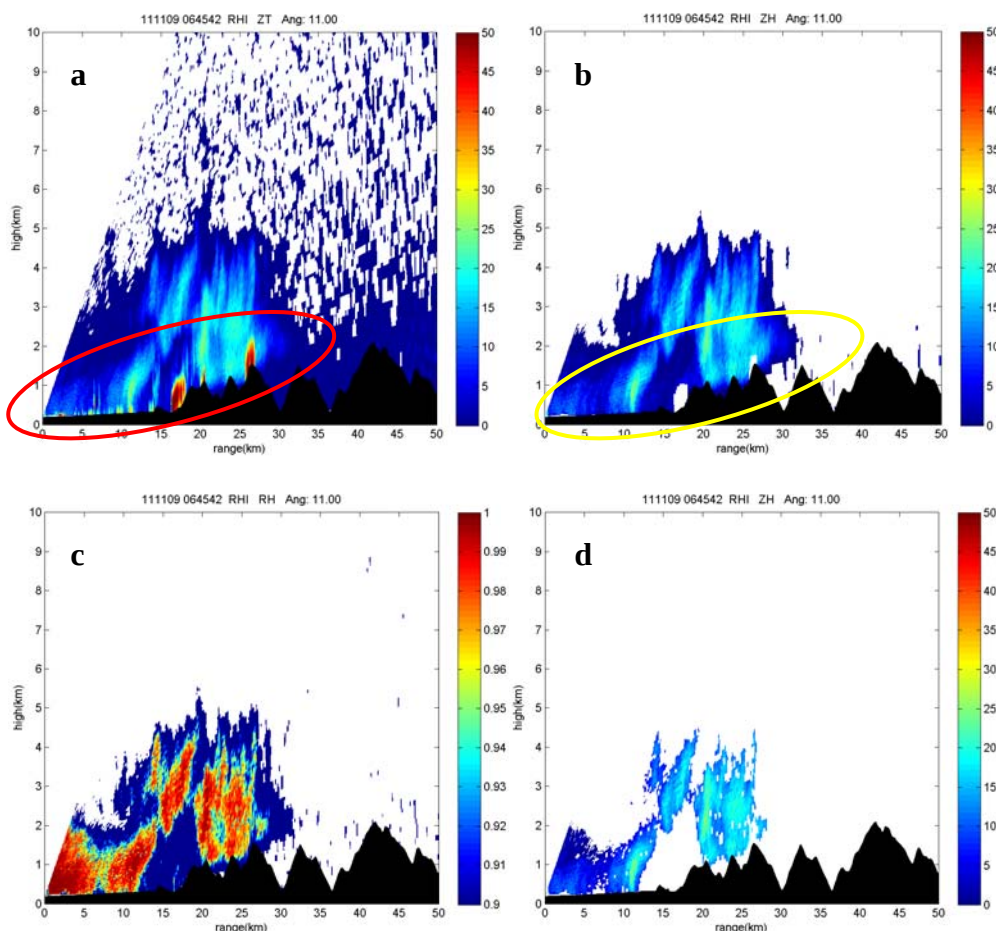


圖 43：064542 UTC 有偏極化觀測下的(a)全回波、(b) LOG & CSR 處理後的回波、
(c)相關係數 ρ_{HV} 、(d) ρ_{HV} 處理後的回波。

圖中在近地形的地方，某幾處出現回波值大於 30 dBZ 以上的條狀回波(紅圈處)，這並非是天氣系統而是地形回波，透過 LOG & CSR 方法可將這些地形回波去掉(圖 43b)，並且稍微有將一些去掉地形回波後的資料空洞補起來(圖 43b 黃圈處)，而在遠處的一些回波雜訊也被去除了；圖 43c 顯示的是當時的 ρ_{HV} 值，接下來同樣利用 ρ_{HV} 等於 0.9 的門檻值將非氣象資訊的資料去掉，得到圖 43d，顯示在 ρ_{HV} 值低於 0.9 的部份完全都被去掉，只保留氣象資訊下來。圖 44 至圖 46 分別代表在不同的 Filter Dop 值(5、6、7，分別代表的 Spectrum width 為 0.2m/sec、0.3m/sec 及 0.5m/sec)下，經過 GMAP 方法處理前的全回波圖(a 圖)和 GMAP 方法處理後的回波圖(b 圖)，和圖 43a 一樣在近地形的地方回波值大於 30 dBZ 以上的條狀回

波皆是屬於地形回波(圖 44a 至 46a，紅圈)，在經過 GMAP 方法處理後的資料，其地形回波的地方皆完全被去掉(圖 44b 至 46b，黃圈)。而在比較使用不同 Filter Dop 值的結果後發現，對於地形回波而言，使用較大的 Filter Dop 值其去掉的地形回波相對是較多的，在地形與降雨資訊混雜的地方，使用較大的 Filter Dop 值其補回來的降水資訊相對也是較多的；不過對於雜訊而言，較小的 Filter Dop 值相對是可去掉較多的雜訊。

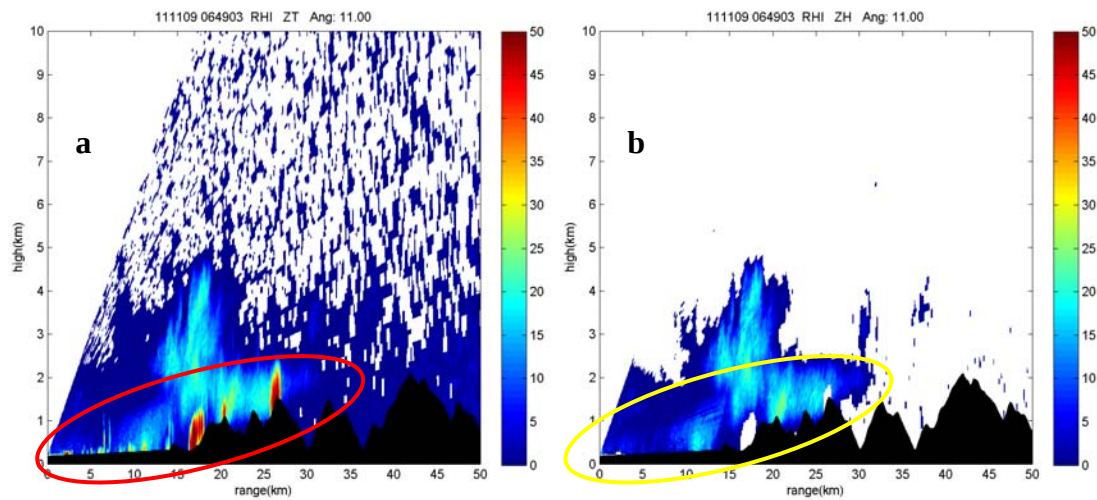


圖 44：064903 UTC 在 GMAP 模式下的全回波圖(a)和處理後的回波圖(右)，Filter Dop=5。

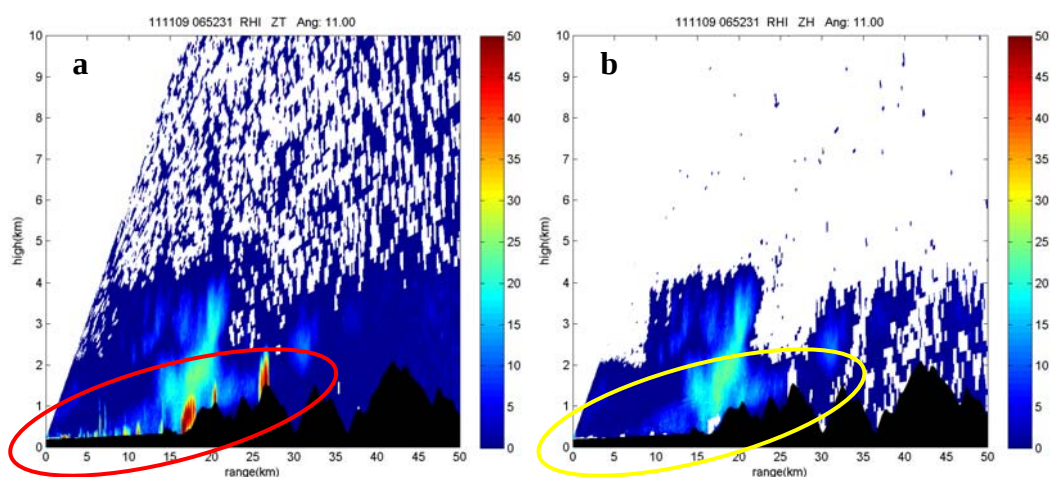


圖 45：064903 UTC 在 GMAP 模式下的全回波圖(a)和處理後的回波圖(右)，Filter Dop=6。

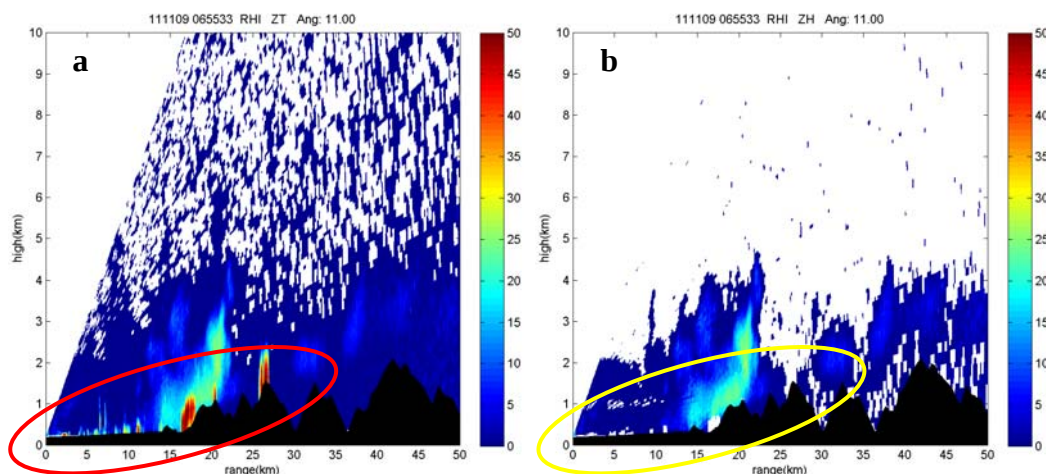


圖 46：064903 UTC 在 GMAP 模式下的全回波圖(a)和處理後的回波圖(右)，Filter Dop=7。

接著比較圖 43 至圖 46 的結果，發現和 PPI 的結果一樣，使用偏極化參數 ρ_{HV} 來去掉地形回波和雜訊的範圍是最多的，可得到相對較乾淨的回波資訊(圖 43b)；而在 LOG & CSR 方法和 GMAP 方法的結果比較上發現，對於去除地形回波的效果而言，GMAP 方法表現是較佳的，而且在地形與降雨資訊混雜的地方，GMAP 方法可以補回相對較多的降雨資訊，不過在去掉雜訊的部份，GMAP 方法的表現就不如 LOG & CSR 方法來的好。

經過 PPI 和 RHI 的比較瞭解到，利用偏極化參數 ρ_{HV} 在去掉地形回波及雜訊時，可以去除掉較多的部份，得到相對較乾淨的回波資訊，而 GMAP 方法在去除地形回波並補回降雨資訊時的效果是來的比 LOG & CSR 方法要好，但在去除雜訊時的效果 LOG & CSR 方法的表現則是優於 GMAP 方法。因此在下一個章節我們則是要將處理後的資料，應用在降水估計上，來評估其精確度的表現，討論在山區估計降雨時，將地形附近地形雜訊去除並保留降水資訊時，是否有助於降雨估計精確度的提升，並找出最佳的去除地形的作業方式。

3.7.3 處理後的雷達資料在降水估計的比較

圖 47 為 2011 年 11 月 8 日 0000 LST 到 2011 年 11 月 10 日 0000 LST 氣象局自動雨量站的每小時累積雨量時序圖，圖中黑色實線框起來的地方為 TEAM-R 有觀測的時間，在 11 月 8 日的觀測，其觀測策略 vertical、PPI 和 RHI 的掃描互相夾雜，這當中又包含了有偏極化參數觀測和 GMAP 方法的策略內容，並無一個較長時間同樣策略的連續觀測；在 11 月 9 日的觀測中，黃色的區塊為有做偏極化參數觀測的時段，紅色區塊則為有使用 GMAP 方法的觀測，其餘的部份則大致夾雜 RHI 和 vertical 的觀測，而這兩天詳細的掃描策略請參閱表一。由這張圖可知這兩天的降雨大部分都集中在晚上至清晨的時段，而在 TEAM-R 觀測時段中只有零星降雨的產生，特別是在利用 GMAP 方法做觀測時，它所涵蓋的時間範圍幾乎都無明顯降雨產生，可用的資料點非常的少，且降雨率也非常的小，因此在比較降雨精確度相對上是較困難的，在此先敘明。

在本報告中資料處理的部份，除了利用 ρ_{HV} 、GMAP 方法及 LOG & CSR 方法去除非氣象資訊外，還做了回波的 bias 修正(Z_H bias = -4.05 dBZ)。此外，報告中所使用的降雨估計公式主要有兩種，分別是 $R(K_{DP})$ 與 $R(Z_H)$ 關係式，如下：

$$R = 18.12 K_{DP}^{0.84} \quad (\text{SoWMEX}) \quad (1)$$

$$R = 19.87 K_{DP}^{0.88} \quad (\text{tradition}) \quad (2)$$

$$R = 47.3 K_{DP}^{0.791} \quad (\text{CASA}) \quad (3)$$

$$R = (0.0037 Z_H)^{0.721} \quad (\text{SoWMEX}) \quad (4)$$

$$R = (0.00296 Z_H)^{0.833} \quad (\text{tradition}) \quad (5)$$

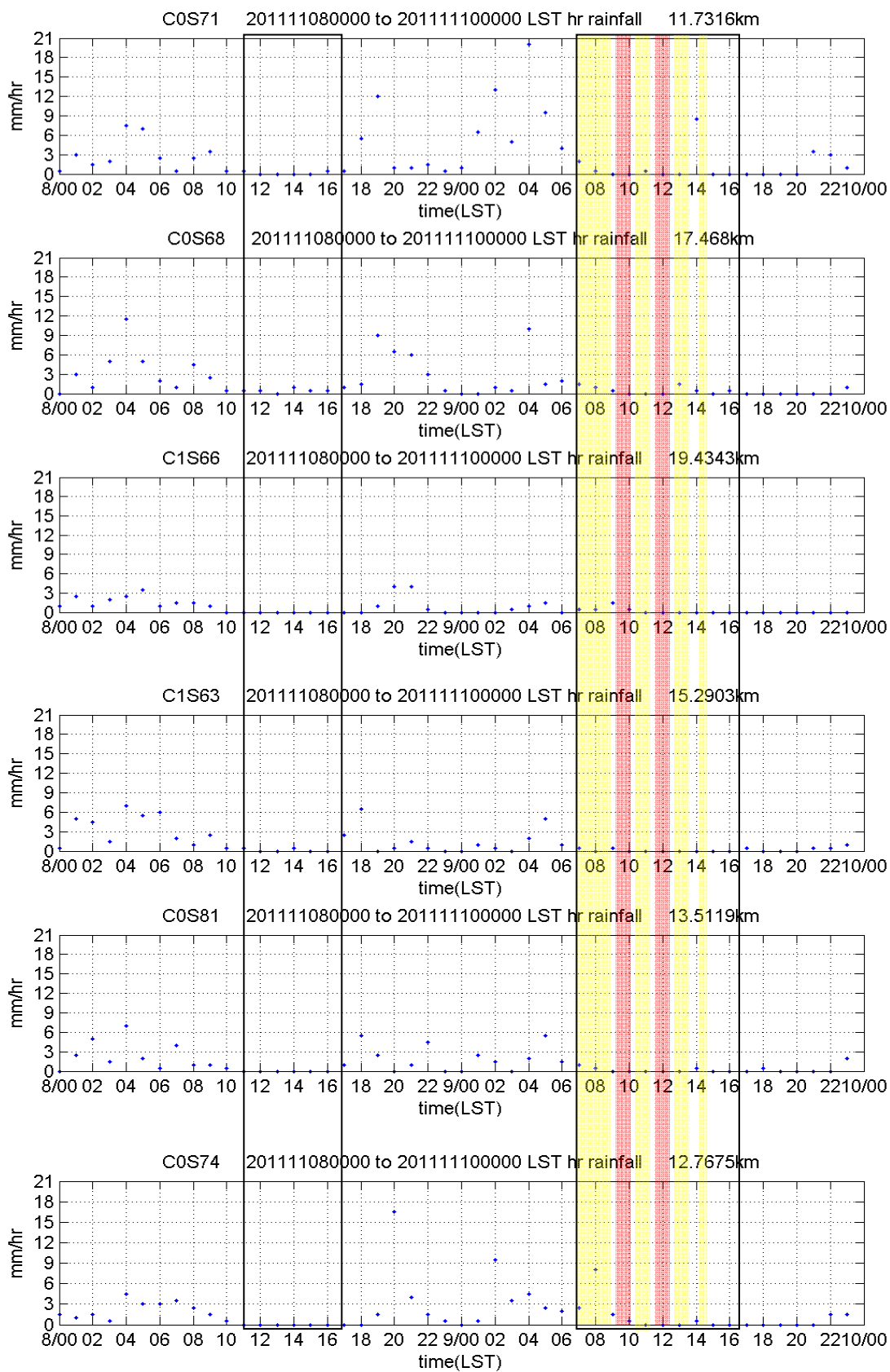


圖 47：2011 年 11 月 8 日 0000 LST 到 2011 年 11 月 10 日 0000 LST 氣象局自動雨量站的每小時累積雨量時序圖。

其中 $R(K_{DP})$ 關係式測試了三種不同的關係式，結果如圖 48 所示，其為經過 $\rho_{HV}=0.9$ 處理後的資料，當回波強度大於 30dBZ 時利用 $R(K_{DP})$ 關係式，反之則利用 $R(Z_H)$ 關係式。在比較上 CASA 的結果在降雨率相對較大時，是比其他兩者估計的要高，在小降雨率時差異就不是很明顯，從大部分的結果來看，這次的降雨估計明顯是低估的，而從許多的前人研究皆顯示，利用 $R(K_{DP})$ 關係式估計降雨可以得到較佳的結果，會有如此的差異主要是， K_{DP} 在降雨率小時並不敏感，降雨估計的精確度也較差。除此之外，本次降雨的 DSD 型態和計畫中使用的三個估計公式的 DSD 型態較為不同，受此差異降雨估計的精確度也會有所影響，因此配合當時的 DSD 型態找到一組適合的公式估計降雨對於精確度的提升是有幫助的。

比較分別利用 ρ_{HV} 及 LOG & CSR 方法處理後資料， $R(K_{DP})$ 關係式降雨估計的結果顯示，在相對較高的降雨率兩者的差別並不大，但在低降雨率時，前者的結果是相對較好的，後者的有些結果甚至是零(圖 49，黑米和紅圈分別為 ρ_{HV} 及 LOG & CSR 的結果)。因此以目前的結果來看，利用 ρ_{HV} 處理後的資料估計降雨時其精確度會比 LOG & CSR 的結果要好一些。

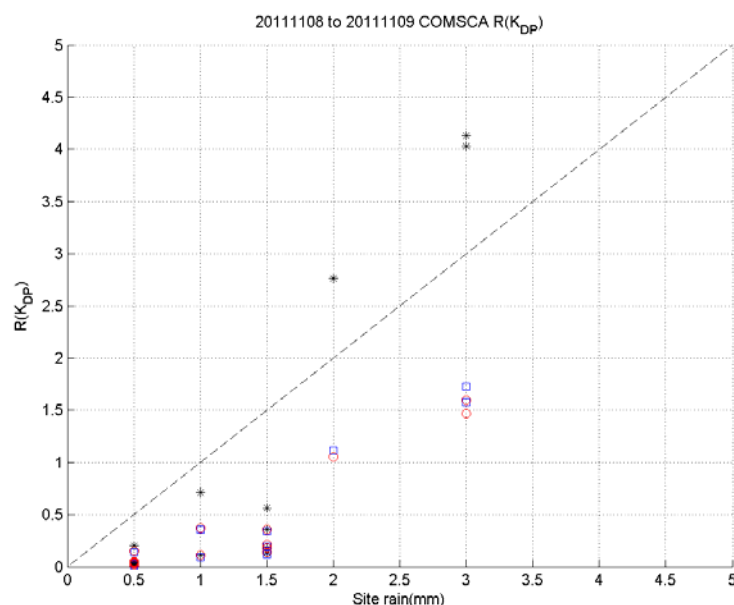


圖 48： $R(K_{DP})$ 關係式估計降雨和地面雨量站的比較，不同的符號代表不同的關係

式，米字為 CASA、藍方框為 tradition、紅圈為 SoWMEX。

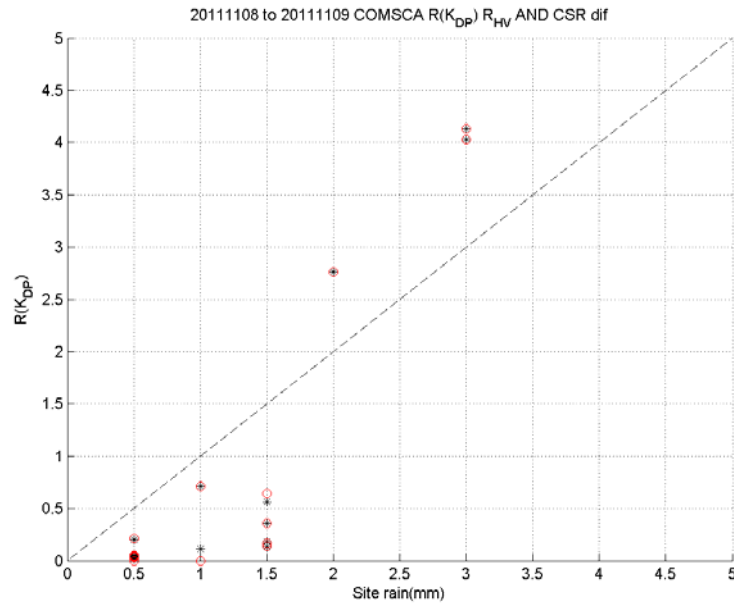


圖 49：R(K_{DP})關係式估計降雨和地面雨量站的比較，不同的符號代表不同的資料處理方法，米字為 ρ_{HV} 、紅圈為 LOG & CSR。

最後比較 ρ_{HV} 、GMAP 方法及 LOG & CSR 方法處理後的資料在 R(Z_H)關係式降雨估計的表現，如圖 50 顯示，圖中符號分別代表 ρ_{HV} (黑米)、LOG & CSR(紅圈)、GMAP(藍方框)的結果，以整體結果來看，這三種方法處理後的資料在降雨估計上的表現都不是很好，明顯都是低估的。而在屏除低估的情況下討論時，發現其中以 GMAP 方法的資料在降雨估計上的表現是較其他兩者差一些，接著則是 LOG & CSR 的資料，而 ρ_{HV} 的資料相對上來說表現得是較好的。

報告中應用兩個不同降雨估計關係式的結果顯示，經 ρ_{HV} 處理後的資料在降雨估計上的表現相對上是較好的，其次是 LOG & CSR 的資料，最後則是 GMAP 方法處理後的資料。但以整體的結果而言，不論是用何種方法處理後的資料，應用在降雨估計時，精確度的表現皆不是很好，會造成這樣的結果主要是有幾個原因：(1)降雨估計公式的適用性，在不同一場雨，其 DSD 的特性會有所差異，利用雨滴譜儀資料求得的關係式，並不一定適用於每一場雨，因此配合當時的 DSD 型態找到一組適合的降雨估計公式，將有助於精確度的提升、(2)本次實驗的觀測資料只做過非氣象資訊的去除及 Z_H 的 bias 修正，並沒有做 Z_{DR} 的 bias 修正及衰減修正，是因為在做衰減修正時 TEAM-R 通常是利用單係數衰減修正法做修

正，需要 Z_{DR} 及 K_{DP} 這兩個偏極化參數，但在做 GMAP 時是無偏極化參數觀測的，並且花東縱谷缺乏其他雷達的觀測，因此平常用的修正方法或利用其它的雷達來輔助修正並不適用，為了公平起見本報告中的資料皆只做上述的兩個處理，所以資料本身就已有誤差的存在、(3)本次觀測與地面雨量站共同捕捉到降雨現象的次數非常少，比較上的意義並不大，且降雨率都偏小，參數的敏感度不高，較弱的回波與地形回波混雜在一起，在資料處理中有時會與地形回波一同被去掉，使資料減少降雨估計精確度降低。

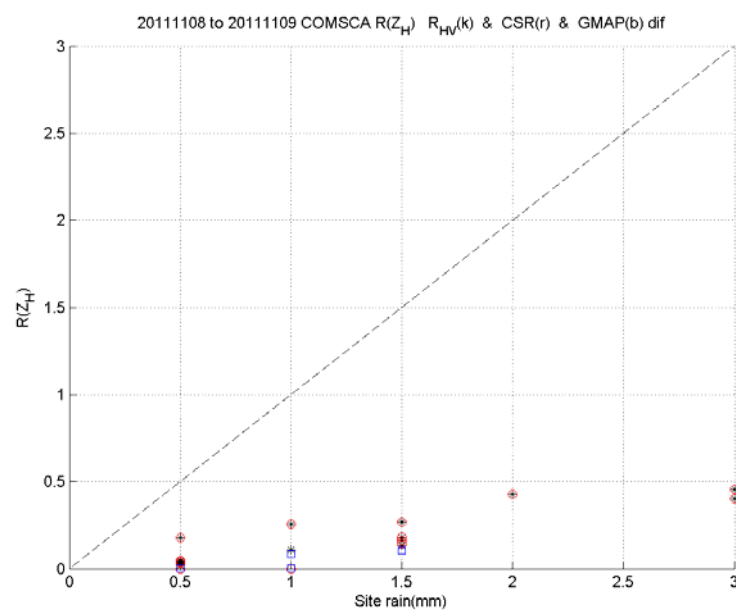


圖 50： $R(Z_H)$ 關係式估計降雨和地面雨量站的比較，不同的符號代表不同的資料處理方法，米字為 ρ_{HV} 、紅圈為 LOG & CSR、藍方框為 GMAP 方法。

第四章 結論

本次計畫已於今年 6 月完成觀測地點選址及場勘，經勘查及覆蓋範圍數值模擬計算後，定於台東縣關山鎮電光部落社區(GPS 位置 $23^{\circ} 0'35.22''$ 北 $121^{\circ}10'19.12''$ 東 海拔 215 公尺)進行觀測，此地點位於田間，為開闊地形，可觀測較大範圍的花東縱谷西側地形，而僅有一電線杆及一矮房舍遮蔽，且觀測地點環境條件適合觀測作業及相關後勤作業，並於 11 月 7 日出發前往該點進行為期 4 天的觀測。由 TEAM-R 為中心點往池上、鹿野與紅葉山的沿線是沿著山坡而上升的，沿途並無較高的地形阻檔；而 TEAM-R 至太麻里與明里的沿線途中則有相對較高的地形阻檔，不過這兩站相對於 TEAM-R 的距離是較遠的，以 Bolcking map 的結果來看對於這兩個地方，大約以 1.5° 至 2° 以上的仰角做掃描即可過山，且 Beam 與地面的高度差也在 1000m 以內，而實際的觀測也顯示出同樣的結果，因此在本此觀測中 TEAM-R 的位置可以很好的觀測太麻里、池上及花東縱谷一帶，是一個不錯的觀測地點。

從資料的分析結果發現不論是在 PPI 或 RHI 的觀測，利用偏極化參數 $\rho_{HV}(0.9)$ 在去掉地形回波及雜訊時，可以去除掉較多的部份，得到相對較乾淨的回波資訊，而 GMAP 方法(Filter Dop=6)在去除地形回波並補回降雨資訊時的效果是來的比 LOG & CSR 方法(LOG=0.5dB；CSR=30dB)要好，但在去除雜訊時的效果 LOG & CSR 方法的表現則是優於 GMAP 方法。在 GMAP 方法中使用不同 Filter Dop 值，對於地形回波而言，較大的 Filter Dop 值其去掉的地形回波相對是較多的，而在地形與降雨資訊混雜的地方，其補回來的降水資訊相對也是較多的；但對於雜訊而言，較小的 Filter Dop 值相對是可去掉較多的雜訊。另外在報告中還測試了不同的 ρ_{HV} 門檻值在去除地形回波的效果，來和 GMAP 方法比較，發現利用 ρ_{HV} 能將地形回波去除的很徹底，但是無法補回降水資訊，因此運用在地形上的效果並不如 GMAP 好。

在比較使用不同 Filter Dop 值(5、6、7，分別代表的 Spectrum width 為 0.2m/sec、0.3m/sec 及 0.5m/sec)的結果後發現，對於地形回波而言，使用較大的 Filter Dop 值其去掉的地形回波相對是較多的，在地形與降雨資訊混雜的地方，

使用較大的 Filter Dop 值其補回來的降水資訊相對也是較多的；不過對於雜訊而言，較小的 Filter Dop 值相對是可去掉較多的雜訊。目前這部份的結果只是對單一個案而言，因此在未來還可透過更多的觀測及分析，針對這個議題進行更多的研究。

而在此次的觀測中，觀測到的多為弱降雨事件，且資料量少，因此在降雨估計的比較上，精確度表現結果代表性不大。以整體的結果而言，不論是用何種方法處理後的資料，應用在降雨估計時，精確度的表現皆不是很好，主要是因為：(1) DSD 型態的差異影響降雨估計公式的適用性，使精確度降低、(2) 觀測資料修正的不完全，導致資料本身就已有誤差的存在去影響降雨估計的精確度、(3) 雷達觀測與地面雨量站共同捕捉到降雨現象的資料很少樣本數不足，且降雨率都偏小，參數的敏感度不高，在資料處理中有些較弱的降雨資訊會與地形回波一同被去掉，使資料減少降雨估計精確度降低，結果的代表性不高。因此這部份的實驗步驟應在降雨量較大時(大於 15mm/hr)再多作幾次測試，預期結果會大有改善，而此次因經費不足必須四天返回，但未來可在別的地點再做測試。

第五章 建議事項

5.1 站址評估

在 2009 年台東地區在莫拉克颱風侵襲期間 8 月 5 日~10 日五天累積雨量接近 1500mm，為太麻里帶來豪大雨，引發土石流、金帥飯店倒塌等不小的災情。該地區屬於峽谷地形，位在氣象局雷達網的觀測死角，且深山區又無法設雨量站，在觀測上較為困難，同樣的觀測問題在花東縱谷地區也是會發生。

在本次計畫中，電光村地點不錯，但如要涵蓋太麻里山區及整個峽谷地區，只有單一點的觀測就顯不足，針對這點可以嘗試分別在峽谷北段、南端出口外近海邊及太麻里地區增加測試點，協助觀測。圖 51 為電腦模擬太麻里站址觀測的覆蓋範圍，此點對於太麻里地區的河谷及出海口的部份皆有不錯的覆蓋，且雷達 beam 和地面的高度差也在 1000 公尺以下，但此點對於其它台東地區的觀測如花東縱谷、台東市等就不是很好；圖 52 為電腦模擬縱谷北端站址觀測的覆蓋範圍，在縱谷範圍內大約在 1° 至 1.5° 的仰角的觀測都可越過大部分的地形，且在縱谷的觀測範圍其雷達 beam 和地面的高度差都在 1000 公尺以下，對於縱谷區域的覆蓋還不錯；圖 53 為電腦模擬縱谷南端站址觀測的覆蓋範圍，同樣其對於縱谷南端及台東市區的覆蓋都很不錯，雷達 beam 和地面的高度差大多都在 1000 公尺以下，但對於太麻里地區的觀測就不是很理想了。而看到縱谷南北端的覆蓋合成圖(圖 54 a)，由這合成結果發現這兩個點可以很好的觀測到整個縱谷的區域，對於縱谷內的溪谷也都可以有很好的覆蓋，雷達 beam 和地面的高度差大多都在 1000 公尺以下，但對於太麻里山區的觀測就很不好，而當加入太麻里的觀測點後(圖 54b)，對於太麻里山區的觀測可以有很大的幫助。

請注意這些是由地形所估計出來的模擬，並無法算出附近地貌，如房屋樹木等的影響，並且仍須評估效益及成本。

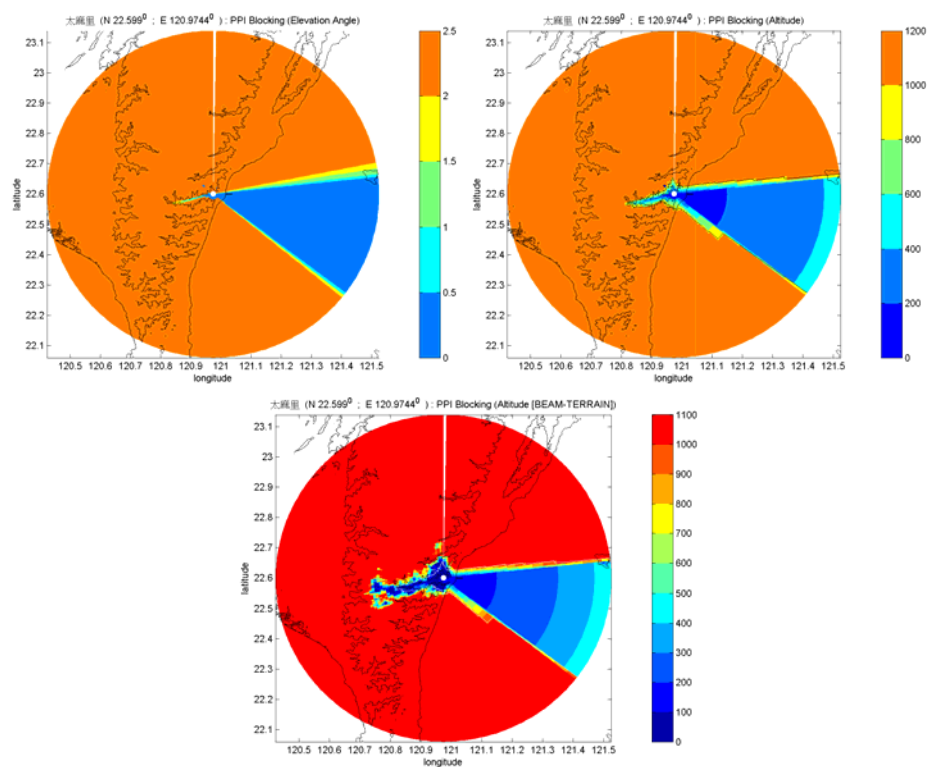


圖 51：太麻里地區的覆蓋範圍數值模擬，分別為(左上)PPI Bolcking Elevation Angle、(右上)PPI Bolcking Altitude 以及(下)PPI Bolcking Altitude [Beam-Terrain]。

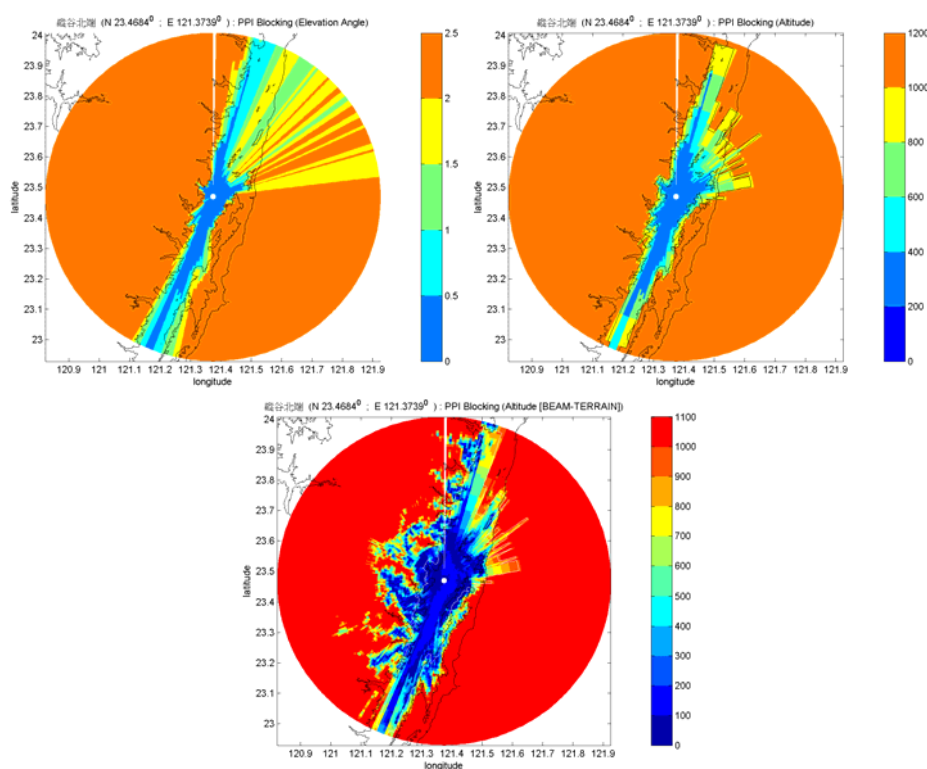


圖 52：縱谷北端的覆蓋範圍數值模擬，分別為(左上)PPI Bolcking Elevation Angle、(右上)PPI Bolcking Altitude 以及(下)PPI Bolcking Altitude [Beam-Terrain]。

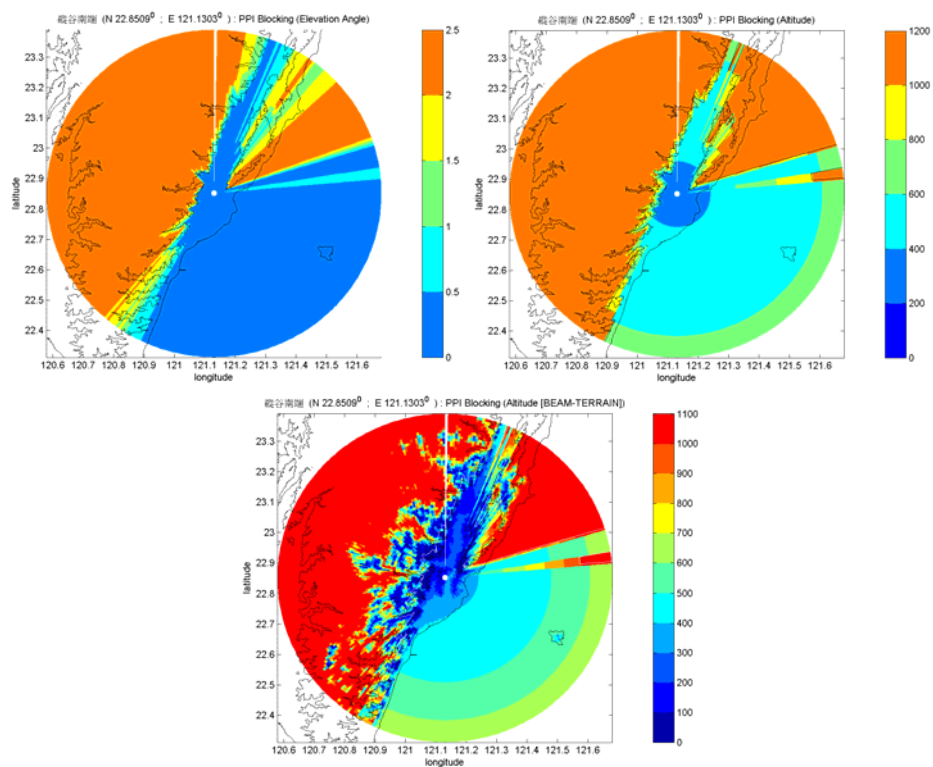


圖 53：縱谷南端的覆蓋範圍數值模擬，分別為(左上)PPI Bolcking Elevation Angle、(右上)PPI Bolcking Altitude 以及(下)PPI Bolcking Altitude [Beam-Terrain]。

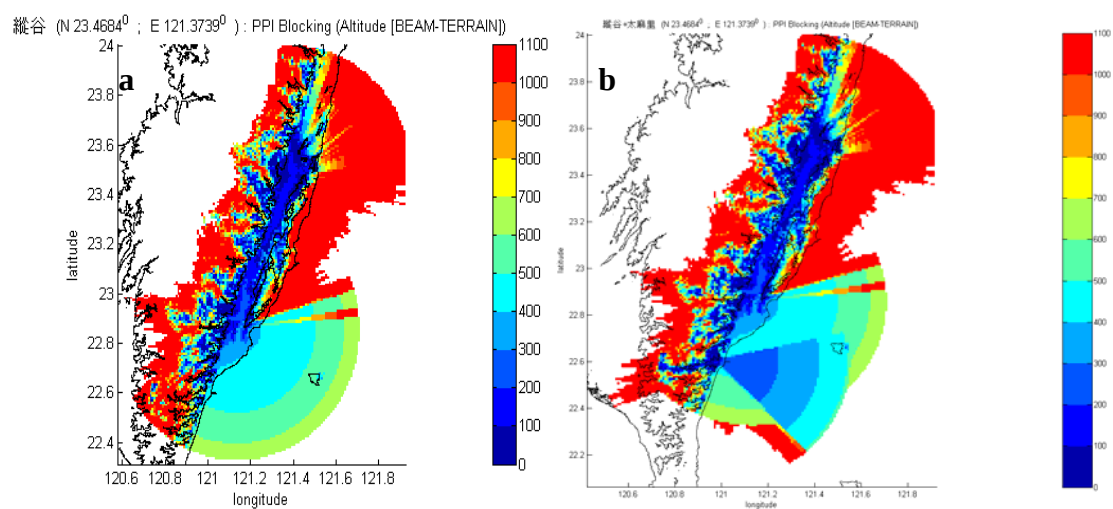


圖 54：雷達掃描的覆蓋範圍數值模擬合成圖，(a)縱谷北端及南端圖、(b)縱谷北端、南端及太麻里山區。

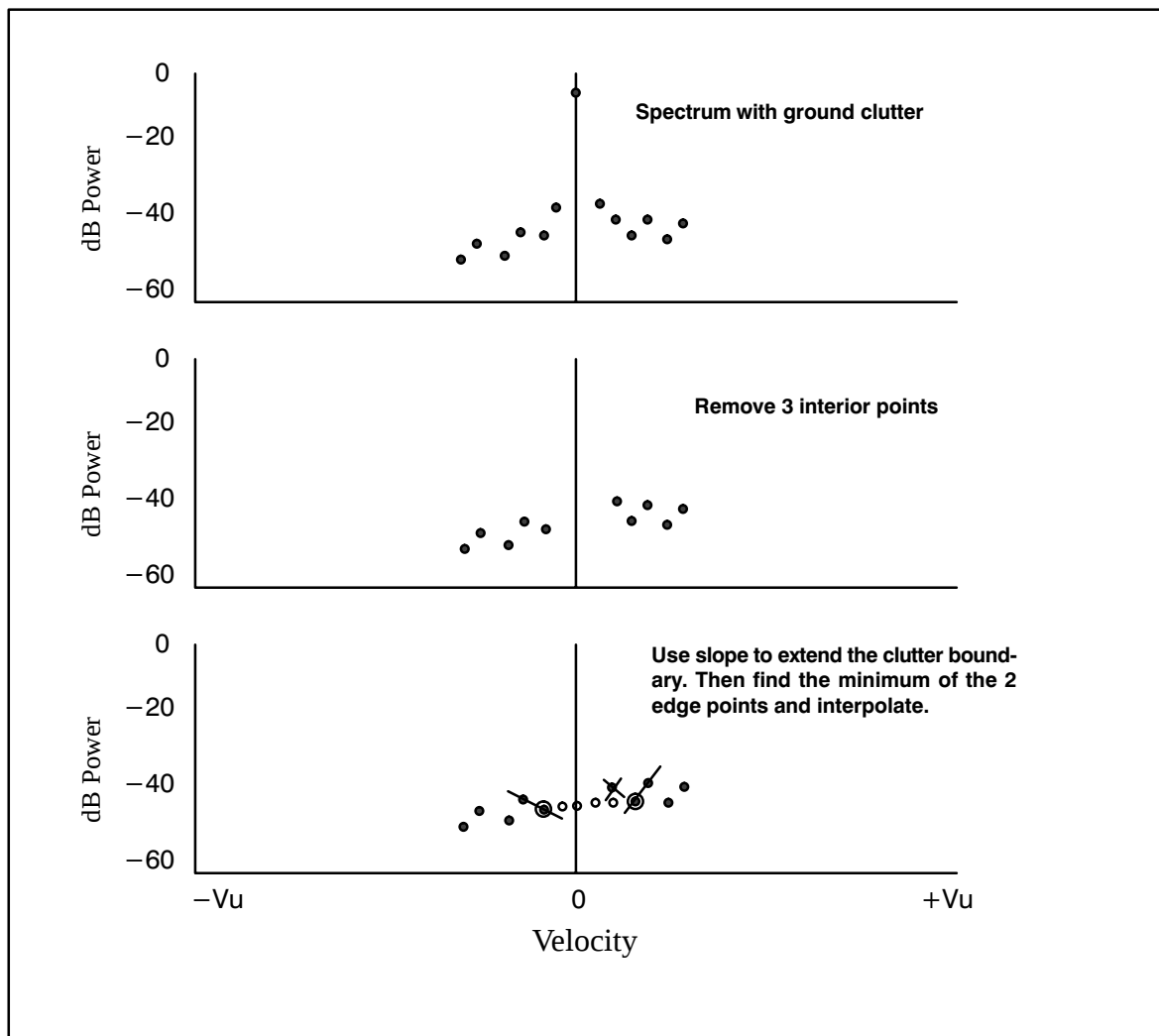
References :

- Hildebrand, P. H. and Sekhon, R. S.: Objective Determination of Noise level in Doppler spectra. *J. Atmos. Sci.* 13, 808–811, 1974.
- Ice, R. L., Rhoton, R. D., Saxion, D. S., Patel, N. K., Sirmans, D., Warde, D. A., Rachel, D. L., and Fehlen, R. G.: Radar Operations Center (ROC) Evaluation of the WSR-88D Open Radar Data Acquisition (ORDA) System Signal Processing, 20th International Conference on Interactive Information and Processing Systems for Meteorology Oceanography, and Hydrology, 11–15 January 2004, Seattle, WA, AMS, 2004.
- Sirmans, D. and Bumgarner, B.: Numerical Comparison of Five Mean Frequency Estimators, *Journal of Applied Meteorology*, 14, 991–1003, 1975.
- Doviak, R. J. and Zrnic, D. S.: *Doppler Radar and Weather Observations*, p. 136, Academic Press, Inc., New York, 1993.

5.2.5.2 Variable Width Clutter Filter

This is similar in many ways to the fixed width filter except that the algorithm attempts to extend the boundary of the clutter by determining which is the first component outside the clutter region to increase in power. The filter is illustrated in the figure below.

Figure 5-7: Variable Width Clutter Filter



In the example above, the minimum number of points to reject is set to 3. The filter starts at zero velocity and checks the slope to determine the point at which the power starts to increase. In the example, this results in the filter being extended by one point on the right. Note that there is a selectable maximum number of points that the filter will “hunt”. The use of the edge points for interpolation is identical to the fixed width case.

This filter allows users to specify a narrower nominal filter than the fixed width case and then when the clutter is strong, this width is extended by the algorithm (the “hunt”). The interpolation attempts to preserve any overlapped clutter and weather.

those transmit polarizations should be used whenever there is more than one choice available. Thus, these selections only apply to the Alternating and Simultaneous transmit modes. Likewise, answering *YES* to *Co-Rcv* and/or *Cx-Rcv* means to use the received data from the co-channel or cross-channel. The receiver question will only appear when dual simultaneous receivers have been configured.

A typical installation might use *H-Xmt:YES*, *V-Xmt:YES*, *Co-Rcv:YES*, *Cx-Rcv:NO*. This will compute (T/Z/V/W) from the co-polarized receiver using both H&V transmissions. Including both transmissions will decrease the variance of (T/Z/V/W); although some researchers prefer excluding *V-Xmt* because that is more standard in the literature. Also, if your polarizations are such that the main power is returned on the cross channel, then you will probably want *Co-Rcv:NO* and *Cx-Rcv:YES*.

DualRx – Sum H+V Time Series: NO

In dual-receiver systems, you may choose whether the (H+V) time series data consist of the sum of the “H” and “V” samples or the concatenation of half the “H” samples followed by half the “V” samples. The later is more useful when custom software is being used to analyze the data from the two separate receive channels.

3.2.3 Mf — Clutter Filters

Residual clutter LOG noise margin: 0.15 dB/dB

Whenever a clutter correction is applied to the reflectivity data, the LOG noise threshold needs to be increased slightly in order to continue to provide reliable qualification of the corrected values. The reason for this is that the uncertainty in the corrected reflectivity becomes greater after the clutter is subtracted away.

For example, if we observe 20dB of total power above receiver noise, and then apply a clutter correction of 19dB, we are left with an apparent weather signal power of +1dB above noise. However, the uncertainty of this +1dB residual signal is much greater than that of a pure weather target at the same +1dB signal level.

The “Residual Clutter LOG Noise Margin” allows you to increase the LOG noise threshold in response to increasing clutter power. In the previous example, and with the default setting of 0.15dB/dB, the LOG threshold would be increased by $19 \times 0.15 = 2.85$ dB. This helps eliminate noisy speckles from the corrected reflectivity data.

Spectral Clutter Filters

Filter #1 – Type:0(Fixed) Width:1 EdgePts:2
Filter #2 – Type:0(Fixed) Width:2 EdgePts:2
Filter #3 – Type:0(Fixed) Width:3 EdgePts:3
Filter #4 – Type:1(Variable) Width:3 EdgePts:2 Hunt:3
Filter #5 – Type:2(Variable) (Gaussian Model) Spectrum width: 0.200 m/sec
Filter #6 – Type:2(Variable) (Gaussian Model) Spectrum width: 0.300 m/sec
Filter #7 – Type:2(Variable) (Gaussian Model) Spectrum width: 0.500 m/sec

These questions define the heuristic clutter filters that operate on power spectra during the DFT-type major modes. Filter #0 is reserved as “all pass”, and cannot be re-defined here. For filters #1 through #7, enter a digit to choose the filter type, followed by however many parameters that type requires. The three filter types are all described in detail in Section 5.2.5.

5.2.5.3 Gaussian Model Adaptive Processing (GMAP)

GMAP is a new adaptive technique developed at SIGMET that is possible on a high-speed processor such as the RVP8. GMAP has the following advantages as compared to fixed width frequency domain filters or time domain filtering such as the IIR approach:

- The width adapts in the frequency domain to adjust for the effects of PRF, number of samples and the absolute amplitude of the clutter power. This means that minimal operator intervention is required to set the filter.
- If there is no clutter present, then GMAP does little or no filtering.
- GMAP repairs the damage to overlapped (near zero velocity) weather targets.
- The DFT window is determined automatically to be the least aggressive possible to remove the clutter. This reduces the variance of the moment estimates.

The GMAP algorithm is described below.

GMAP Model Assumptions

GMAP makes several assumptions about the model for clutter, weather and noise, i.e.,

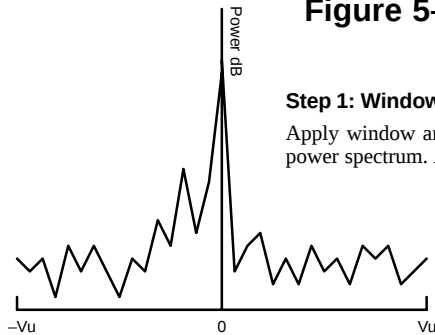
- The spectrum width of the weather signal is greater than that of the clutter. This is a fundamental assumption required of all Doppler clutter filters.
- The Doppler spectrum consists of ground clutter, a single weather target and noise. Bi-modal weather targets, aircraft or birds mixed with weather would violate this assumption.
- The width of the clutter is approximately known. This is determined primarily by the scan speed and to a lesser extent by the climatology of the local clutter targets. The assumed width is used to determine how many interior clutter points are removed.
- The shape of the clutter is approximately Gaussian. This shape is used to calculate how many interior clutter points are removed.
- The shape of the weather is approximately Gaussian. This shape is used to reconstruct filtered points in overlapped weather.

GMAP Algorithm Steps

The steps used to implement the GMAP approach are shown schematically in Figure 5–8 and summarized below.

- **Step 1: Window and DFT**
First a Hamming window weighting function is applied to the IQ values and a discrete Fourier transform (DFT) is then performed. This provides better spectrum resolution than a fast Fourier Transform (FFT) which requires that the number of IQ values be a power of 2. Note that if the requested number of samples is exactly a power of 2, then an FFT is used.

Figure 5–8: GMAP Algorithm Steps

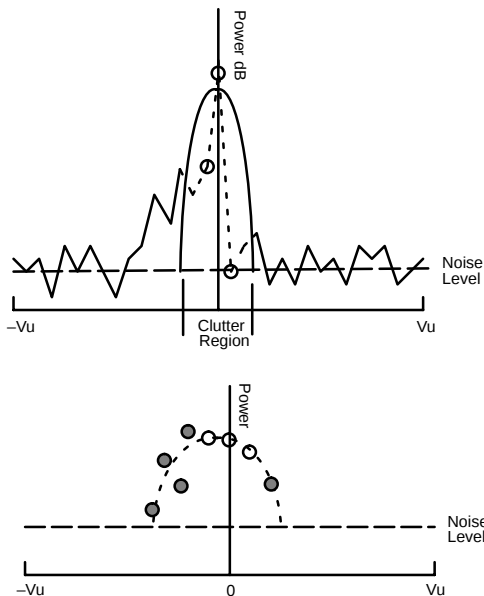
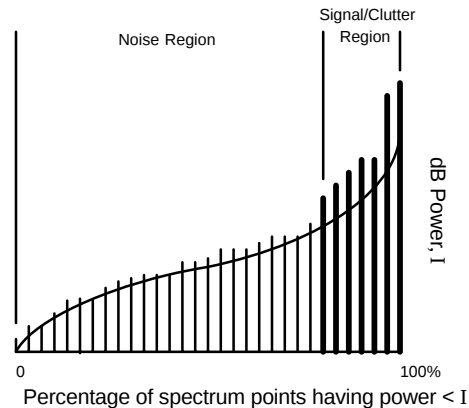


Step 1: Window and DFT

Apply window and DFT the input time series to obtain the Doppler power spectrum. A Hamming window is used for the first trial.

Step 2 (Optional): Dynamic noise power

If the noise level is not known, or if GMAP is recalculated using the Blackman window for CSR > 40 dB, then this step is performed. Re-organize the spectrum components in ascending order of intensity. The theoretical relationship for noise is the curved line. The sum of the power in the range 5% to 40% is calculated. This is used to determine the noise level by comparing with the sum value corresponding to the theoretical curve. Next, the power is summed beyond the 40% point for both the actual and theoretical rank spectra. The point where the actual power sum exceeds the theoretical value by 2 dB determines the boundary between the noise region and the signal/clutter region.



Step 3: Remove clutter points

Use the total power of the three central spectrum points (indicated by the three open circles) to fit a Gaussian having the selected nominal spectrum width in m/s (a function of the number of spectrum samples, PRF and wavelength). The points within the intersection of the Gaussian clutter and the noise level (the "Clutter Region") are discarded (indicated by the dashed lines).

Step 4: Replace clutter points

Dynamic Noise Case: Using the components which have been determined to be neither clutter nor noise (indicated by the filled circles), fit a Gaussian and fill-in the clutter points that were removed in the previous step (indicated by the open circles). Then re-fit the Gaussian with the replacement values inserted. Repeat the iteration until the computed power does not change by more than 0.2dB AND the velocity does not change by more than 0.5% of the Nyquist velocity.

Fixed Noise Case: Similar except the spectrum points that are larger than the noise level are used.

Step 5: Recompute GMAP with optimal window

Determine if the optimal window was used based on the clutter-to-signal ratio (CSR)

- IF CSR > 40 dB repeat GMAP using a Blackman window and dynamic noise calculation.
- IF CSR > 20 dB repeat GMAP using a Blackman window. Then if CSR > 25dB use Blackman results.
- IF CSR < 2.5 dB repeat GMAP using a rectangular window. Then if CSR < 1 dB use rectangular results.
- ELSE accept the Hamming window result.

- As mentioned in Section 5.2.2, when there is no or very little clutter, use of a rectangular weighting function leads to the lowest-variance estimates of intensity, mean velocity and spectrum width. When there is a very large amount of clutter, then the aggressive Blackman window is required to reduce the “spill-over” of power from the clutter target into the sidelobes of the impulse response function. The Hamming window is used as the first guess. After the first pass GMAP analysis is complete, a decision is made to either accept the Hamming results, or recalculate for either rectangular or Blackman depending on the clutter-to-signal ratio (CSR) computed from the Hamming analysis. The recalculated results are then checked to determine whether to use these or the original Hamming result (see Figure 5–8 for details).
- **Step 2: Determine the noise power**
In general, the spectrum noise power is known from periodic noise power measurements. Since the receiver is linear and requires no STC or AGC, the noise power is well-behaved at all ranges. The only time that the spectrum noise power will differ from the measured noise power is for very strong clutter targets. In this case, the clutter contributes power to all frequencies, essentially increasing the spectrum noise level. This occurs for two reasons: 1) In the presence of very strong clutter, even a small amount of phase noise causes the spectrum noise level to increase, and 2) There is significant power that occurs in the window side-lobes. For a Hamming window, the window side lobes are down by 40 dB from the peak at zero velocity. Thus 50 dB clutter targets will have spectrum noise that is dominated by the window sidelobes in the Hamming case. The more aggressive Blackman window has approximately 55 dB window sidelobes at the expense of having a wider impulse response and larger negative effect on the variance of the estimates.
- When the noise power is not known, it is optionally computed using a dynamic approach similar to that of Hildebrand and Sekhon (1974). The Doppler spectrum components are first sorted in order of their power. As shown in Figure 5–8, the sorting places the weakest component on the left and the strongest component on the right. The vertical axis is the power of the component. The horizontal axis is the percentage of components that have power less than the y-axis power value. Plotted on a dB scale, Poisson distributed noise has a distinct shape, as shown by the curved line in Figure 5–8. This shape shows a strong singularity at the left associated with taking the log of numbers near zero, and a strong maximum at the right where there is always a finite probability that a few components will have extremely large values.
- There are generally two regions: a noise region on the left (weaker power) and a signal/clutter region on the right (stronger power). The noise level and the transition between these two regions is determined by first summing the power in the range 5% to 40%. This sum is used to determine the noise level by comparing with the sum value corresponding to the theoretical curve. Next, the power is summed beyond the 40% point for both the actual and theoretical rank spectra. The point where the actual power sum exceeds the theoretical value by 2 dB determines the boundary between the noise region and the signal/clutter region.

- Finally there are two outputs from this step: a spectrum noise level and a list of components that are either signal or clutter
- **Step 3: Remove the clutter points**

The inputs for this step are the Doppler power spectrum, the assumed clutter width in m/s and the noise level, either known from noise measurement or optionally calculated from the previous step. First the power in the three central spectrum components is summed (DC ± 1 component) and compared to the power that would be in the three central components of a normalized Gaussian spectrum having the specified clutter width and discretized in the identical manner. This serves as a basis for normalizing the power in the Gaussian to the observed power. The Gaussian is extended down to the noise level and all spectral components that fall within the Gaussian curve are removed. The power in the components that are removed is the “clutter power”.
- A subtle point is the use of the three central points to do the power normalization of the actual vs the idealized spectrum of clutter. This is more robust than using a single point since for some realizations of clutter targets viewed with a scanning antenna, the DC component is not necessarily the maximum. Averaging over the three central components is a more robust way to characterize the clutter power.
- The very substantial algorithmic work that has been done thus far is to eliminate the proper number of central points. The operator only has to specify a nominal clutter width in m/s. This means that the operator does not need to consider the PRF, wavelength or number of spectrum points- GMAP accounts for these automatically.
- A key point is that in the event that the sum of the three central components is less than the corresponding noise power, then it is assumed that there is no clutter and all of the moments are then calculated using a rectangular window. If the power in the three central components is only slightly larger than the noise level, then the computed width for clutter removal will be so narrow that only the central (DC) point shall be removed. This is very important since, if there is no clutter then we want to do nothing or at worst only remove the central component.
- Because of this behaviour, there is no need to do a clutter bypass map, i.e., turn-off the clutter filter at specific ranges, azimuths and elevation for which the map declares that there is no clutter. Because of the day-to-day variations in the clutter and the presence of AP, the clutter map will often be incorrect. Since GMAP determines the no-filter case automatically and then processes accordingly, a clutter map is not required.
- **Step 4: Replace clutter points**

The assumption of a Gaussian weather spectrum now comes into play to replace the points that have been removed by the clutter filter. There are two cases depending on how the noise level is determined under Step 2, i.e., the dynamic noise case and the fixed noise level case.
- **Dynamic noise level case:** From Step 2, we know which spectrum components are noise. From Step 3 we know which spectrum components are clutter. Presumably, everything that is left is weather signal. An inverse DFT using only these components is

performed to obtain the autocorrelation at lags 0, 1. This is very computationally efficient since there are typically few remaining points and only the first two lags need be calculated. The pulse pair mean velocity and spectrum width are calculated using the Gaussian model (e.g., see Doviak and Zrnic, 1993). Note that since the noise has already been removed, there is no need to do a noise correction. The Gaussian model is then applied using the calculated moments to determine a substitution value for each of the spectrum components that were removed in Step 3.

- In the case of overlapped weather as shown in the Figure 5–8 example, the replacement power is typically too small. For this reason, the algorithm recomputes R0 and R1 using both the observed and the replacement points and computes new replacement points. This procedure is done iteratively until the power difference between two successive iterations is less than 0.2 dB and the velocity difference is less than 0.5% of the Nyquist interval.
- In summary of this step, the Gaussian weather model is used to repair the filter bias, i.e., the damage that is caused by removing the clutter points. An IIR filtering approach makes no attempt to repair filter bias, rather the filter simply “digs a hole” into overlapped weather.
- **Step 5: Check for appropriate window and recalculate the moments if necessary.**
The clutter power is known from the spectrum components that were removed in Step 3. Since the weather spectrum moments and the noise are also known from Step 4, the CSR can be calculated. The value of the CSR, is used to decide whether the Hamming window is the most appropriate. The scenarios are described in Figure 5–8. The end result is that very weak clutter is processed using a rectangular window, moderate clutter a Hamming window, while severe clutter requires a Blackman window. Note that if no clutter were removed in Step 3, then the spectrum is processed with a rectangular window.
- The benefit of adaptive windowing is that the least aggressive window is used for the calculation of the spectrum moments, resulting in the minimum variance of the moment estimates.

GMAP Configuration

The 'mf' command in the dspX TTY setups is used to configure GMAP filters. In the section for the spectrum filters select filter “Type 2” and specify the width of the ground clutter in m/s. This width is determined largely by your antenna rotation rate so you will want to configure several widths to deal with the different rotation rates in your operational scenario. An example might be filters indexed 1-5 corresponding to widths from 0.1 to 0.5.

A good practice is to make a scan on a clear day while using ascope or other utility and observe what the actual width of the clutter is for your various scan rates. You will need to turn-off the clutter filtering to do this (pick “filter 0” for the all pass filter).

Example of Implementation

GMAP has undergone extensive evaluation for use in the US WSR88D ORDA network upgrade (Ice et al, 2004). They conclude that GMAP meets the ORDA requirements. Their

study was based on a built-in simulator that is provided as part of the RVP8 and the ascope utility. The simulator allows users to construct Doppler spectra, process them and evaluate the results (Sirmans and Bumgarner, 1975). This is an essential tool for evaluating the system performance.

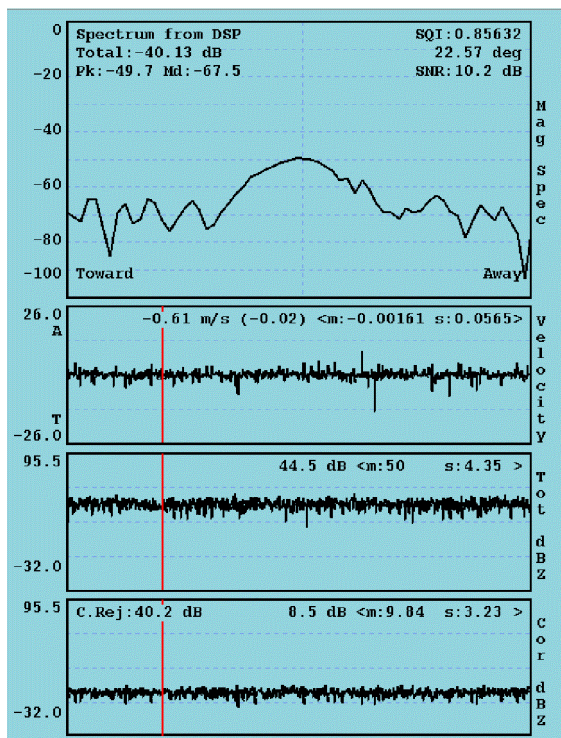
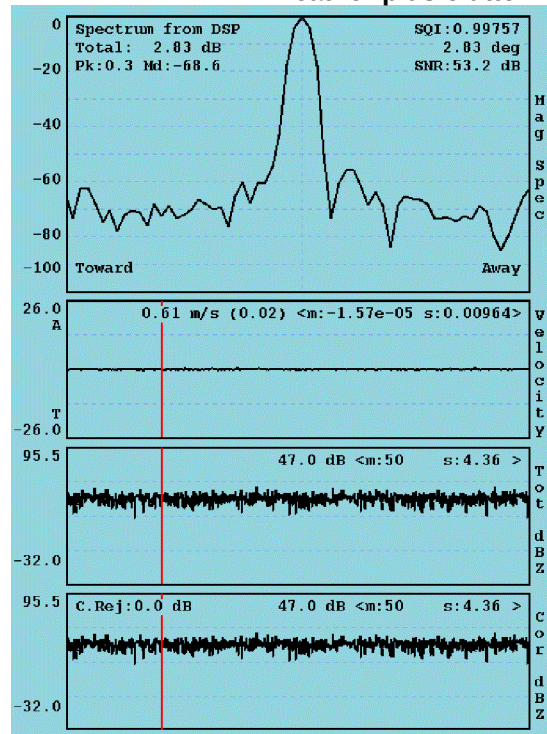
Figure 5–9 shows an example of the simulations for the very difficult case when the weather has zero velocity, i.e., it is perfectly overlapped with clutter. The upper left graph shows the weather signal with –40 dB power without any clutter and without any GMAP filtering. The graph at the upper right shows the same spectrum with 0 dB of clutter power added for a clutter width of 0.012 (0.3 m/s at S band, 1000 Hz PRF). This is a CSR of 40 dB. The panel at the lower left shows the weather signal after GMAP filtering.

In each of the moment plots, there are several values that are displayed. The left-most number shows the value at the range cursor which is positioned as indicated by the vertical line. To the right, the “m” value is the mean and the “s” value the standard deviation as averaged over all range bins (1000 in this example). For velocity these are in normalized units expressed as a fraction of the Nyquist interval. For reflectivity the values are in dB.

Some key points are:

- The mean velocity is correctly recovered as expected (the “m” value in the plot), but the standard deviation is higher (0.06 vs 0.04 in normalized units).
- The “Cor dBZ” shows 40.2 dB of “C.Rej”. This is the difference between the “Tot dBZ” and the “Cor dBZ” values. The expected value is 40 dB in this case. This indicates that GMAP has recovered the weather signal in spite of the aggressive clutter filtering that is required.
- The standard deviation of the “Tot dBZ” is greater in the weather plus clutter (4.35 normalized units) as compared to the weather-only case. This is caused by the fluctuations in the clutter power in the Gaussian clutter model.
- The standard deviation of the Cor dBZ after GMAP filtering, while not as low as for the weather-only case are lower than the weather plus clutter case. In other words, the GMAP processing removes some of the high variance in the dBZ estimates that is caused by clutter, but is not quite as good as doing nothing.

Weather only



Simulation Characteristics

	Clutter	Weather	Units
Power	0	−40	dB
Vel	0	0	Any
Width	0.012	0.1	Normalized

PRF	1000 Hz	Window	Blackman
ModeFFT		Samples	64

“Mag Spec”: Doppler Spectrum in dB Units spanning the Nyquist interval.

“Velocity”: Mean velocity of the spectrum in over Nyquist interval. Mean “m” and standard deviation values “s” are for the normalized interval ± 1 .

“Tot dBZ”: Power in dB of weather and clutter. Mean “m” and standard deviation values “s” are in dB.

“Cor dB”: Power in dB after GMAP filtering. Mean “m” and standard deviation values “s” are in dB.

“<m: ...s: ...>” mean and standard deviation over all ranges, in this case 1000 range bins.