目錄

目錄 i
圖目錄 ii
表目錄 vi
壹、前言 1
貳、計畫目標 2
參、工作範圍 2
肆、工作項目 2
伍、成果交付項目 4
陸、工作項目與執行成果 5
一、合成孔徑雷達影像產品 5
二、合成孔徑雷達影像處理與標準作業程序 8
三、合成孔徑雷達影像特徵判釋 42
四、全台角反射器佈建規劃 75
柒、結論與建議 86
捌、計畫進度 92
玖、參考文獻 93
附錄一、會議審查意見與辦理情形 A-1
附錄二、林務局農林航空測量所訪談紀錄表 B-1
附錄三、名詞解釋 C-1
附錄四、國際機載合成孔徑雷達系統 D-1
附錄五、相關文獻 E-1

圖目錄

圖 6-1、合成孔徑雷達影像處理標準作業流程圖 9
圖 6-2、德國太空總署衛星災害資訊中心災害應變工作分配環形圖 13
圖 6-3、現行緊急應變機制 AS IS 分析圖 17
圖 6-4、林務局農林航空測量所緊急應變機制中將現行 ATIS 系統與機載合成孔徑雷達取像整合 18
圖 6-5、林務局農林航空測量所緊急應變機制中將現行 ATIS 系統升級為 ATIS 緊急事件架構（ATIS EMIS） 23
圖 6-6、未來緊急應變機制 TO BE 分析圖 25
圖 6-7、5 度航向疊置與陰影分析 28
圖 6-8、南向北同向相鄰航線取像重疊率 29
圖 6-9、北向南同向相鄰航線取像重疊率 29
圖 6-10、南北異向飛行相同測區航線示意與取像重疊率 30
圖 6-11、東西同異向飛行相同測區航線示意與取像重疊率 30
圖 6-12、蘇花公路北向南飛行測區模擬成像圖 31
圖 6-13、蘇花公路北向南飛行測區模擬成像鑲嵌示意圖 32
圖 6-14、蘇花公路北向南飛行測區模擬成像鑲嵌圖 32
圖 6-15、蘇花公路或南向北飛行測區模擬成像鑲嵌圖 33
圖 6-16、蘇花公路北向南飛行航線模擬疊置與陰影分析成果圖。左圖紅色區域為疊置區域；右圖藍色區域為陰影區域 34
圖 6-17、蘇花公路南向北飛行航線模擬疊置與陰影分析成果圖。左圖紅色區域為疊置區域；右圖藍色區域為陰影區域 35
圖 6-18、蘇花公路北向南（或南向北）飛行航線模擬疊置與陰影區域圖 36
圖 6-19、蘇花公路北向南（或南向北）飛行航線模擬非疊置與非陰影區域圖 37
圖 6-20、中央山脈地區各航高雷達影像信號疊置與遮蔽模擬成果，紅色地區為雷達區域性無資料區。左 1 圖為 20,000 呎航高，左 2 圖為 30,000 呎航高，左 3 圖為 50,000 呎航高，右圖為 100,000 呎航高。 38
圖 6-21、模擬中央山脈地區航高 20,000 呎、觀測角度 35 度時雷達於不同航向觀測影像受遮蔽的情形 39
圖 6-22、模擬中央山脈地區航高 20,000 呎、觀測角度 45 度時雷達於不同航

向觀測影像受遮蔽的情形 39
圖 6-23、不同觀測方位角度合成孔徑雷達影像將呈現不同結果。左圖為合成孔徑雷達影像，雷達觀測方向如圖中左下角箭頭指示為往上方觀測；右圖為合成孔徑雷達影像，雷達觀測方向如圖中左上角箭頭指示為往下方觀測 44
圖 6-24、合成孔徑雷達干涉技術二軌跡法飛行取像示意圖 45
圖 6-25、差分干涉雷達技術幾何示意圖 46
圖 6-26、全偏極影像散射亂度空間分布圖 47
圖 6-27、疊置效應示意圖。上圖（A）為疊置效應幾何示意圖，左下圖（B）山區的稜線是往西邊傾倒，表示山頂的回波訊號先於底部回波訊號抵達天線，右下圖（C）中看出稜線被拉回到原來的位置 48
圖 6-28、陰影效應示意圖。上圖（A）為陰影效應幾何示意圖，左下圖（B）山區的稜線後的東邊有明顯的黑色訊號反應，表示此山區的後方資訊完全無回波訊號，右下圖（C）中看出稜線被拉回到原來的位置，並且陰影區域由附近區域的資訊以內插方式補足 49
圖 6-29、國有林區範圍圖，藍色區域為旗山事業區 50
圖 6-30、旗山事業區已拍攝的 TERRASAR-X 航帶雙偏極影像範圍 51
圖 6-31、屏東東港地區已拍攝的 COSMO-SKYMED 航帶單偏極影像範圍。 52
圖 6-32、合成孔徑雷達裸露崩塌變異偵測流程圖 53
圖 6-33、合成孔徑雷達溢淹變異偵測流程圖 54
圖 6-34、TERRASAR-X 旗山事業區雙偏極影像 55
圖 6-35、TERRASAR-X 旗山事業區雙偏極 BOXCAR 濾波影像 55
圖 6-36、TERRASAR-X 旗山事業區雙偏極 REFINED LEE 濾波影像 56
圖 6-37、TERRASAR-X 旗山事業區雙偏極 IMPROVED SIGMA 濾波影像 56
圖 6-38、TERRASAR-X 旗山事業區雙偏極影像各種濾波處理成果。左上角為原始影像；右上角為 BOXCAR 濾波成果影像；左下角為 REFINED LEE 濾波成果影像；IMPROVED SIGMA 濾波成果影像 57
圖 6-39、合成孔徑雷達濾波影像自相關分析成果。左上角為原始影像；右上角為 BOXCAR 濾波成果影像；左下角為 REFINED LEE 濾波成果影像；IMPROVED SIGMA 濾波成果影像 58
圖 6-40、COSMO-SKYMED 高屏地區淹溢示範影像（HH 極化） 59

圖 6-41、COSMO-SKYMED 高屏地區淹溢影像各種濾波處理區域成果。左上角為原始影像；右上角為 BOXCAR 濾波成果影像；左下角為 REFINED LEE 濾波成果影像；IMPROVED SIGMA 濾波成果影像 60
圖 6-42、COSMO-SKYMED 高屏地區淹溢濾波影像自相關分析成果。左上角為原始影像；右上角為 BOXCAR 濾波成果影像；左下角為 REFINED LEE 濾波成果影像；IMPROVED SIGMA 濾波成果影像 61
圖 6-43、裸露地及植被均質樣區。上圖為裸露地均質樣區；下圖為植被均質樣區 63
圖 6-44、植被變異偵測指標分析-特徵分離度 63
圖 6-45、裸露地及植被均質樣區。上圖為裸露地均質樣區；下圖為植被均質樣區 64
圖 6-46、植被變異偵測指標分析-特徵分離度 65
圖 6-47、裸露地及植被均質樣區。上圖為裸露地均質樣區；下圖為植被均質樣區 66
圖 6-48、植被變異偵測指標分析-特徵分離度 67
圖 6-49、2012 年 07 月 09 日獻肚山 SPOT-4 光學衛星影像 67
圖 6-50、2012 年 07 月 09 日獻肚山 SPOT-4 光學衛星影像 NDVI 分析成果 68
圖 6-51、非植被區域向量圖層（黃色框線）套疊 TERRASAR-X 合成孔徑雷達影像（紅色矩形範圍為訓練樣區） 69
圖 6-52、TERRASAR-X 合成孔徑雷達影像植被指標訓練樣區直方圖 69
圖 6-53、東港溪地區前後期溢淹 COSMO-SKYMED 合成孔徑雷達衛星影像 70
圖 6-54、東港溪地區土地利用圖與現場調查照片 70
圖 6-55、東港溪地區高低植被與水體樣區圈選位置 71
圖 6-56、東港溪地區不同濾波器高植被與水體資料分離度分析 72
圖 6-57、東港溪地區不同濾波器低植被與水體資料分離度分析 72
圖 6-58、RVI 裸露地判釋成果。左圖為 SPOT-4 光學影像；右圖為 RVI 判釋裸露地範圍（橘色多邊形）套疊光學影像 74
圖 6-59、溢淹判釋成果。左圖為 COSMO-SKYMED 合成孔徑雷達影像；右圖為水體判釋範圍（藍色多邊形）套疊 COSMO-SKYMED 合成孔徑雷達影像 74

圖 6-60、一般三片式三角角反射器示意圖 76
圖 6-61、全向型角反射器示意圖 76
圖 6-62、蜂巢板三明治結構複合材示意圖 77
圖 6-63、蜂巢板三明治結構複合材全向型角反射器實體 77
圖 6-64、角反射器佈建點位選取流程圖 80
圖 6-65、台灣地區角反射器架設建議分布圖 83
圖 6-66、角反射器點位海拔高度分布圖 84
圖 6-67、角反射器距離道路遠近分布圖 84

表目錄

表 5-1、成果交付項目與期程 4
表 6-1、基礎合成孔徑雷達影像產品 6
表 6-2、供倉儲典藏之合成孔徑雷達影像產品 8
表 6-3、全台六大機場緊急應變資料傳遞與影像產出時間預估表 20
表 6-4、實體與虛擬應變中心特色比較 26
表 6-5、合成孔徑雷達成像處理器軟硬體規格與需求功能軟體建議 41
表 6-6、變異偵測準則 73
表 6-7、全向性角反射器廠商報價一覽 78
表 6-8、角反射器點位與道路距離空間分析成果 85
表 6-9、角反射器點位佈建經費初估表 85
表 7-1、未來政策推動建議事項 91
表 8-1、計畫工作進度甘特圖 92

壹、前言

在過去，國內對於合成孔徑雷達（Synthetic Aperture Radar, SAR）影像的應用不若光學影像多，其原因為製作技術門檻較高，且學門理論跨越遙測、通訊、材料及機械等。近年來，為求在災害來臨時能夠立即進行災區監測，合成孔徑雷達可穿透物體的優勢，逐漸獲得青睞。但實際應用上，由於國內尚未開發出自主的星載合成孔徑雷達，影像的來源大多購置於國外衛星公司，為了發揮全天時、全天候、機動性高和即時資料提供的優勢，林務局農林航空測量所預計於 102 年 8 月完成機載合成孔徑雷達建置，屆時國內將可擁有自主的機載合成孔徑雷達影像資料，在載具及設備皆可正常使用且備品零件充裕下，可於每年汛期前後完成 2 次全島雷達影像蒐集作業，雷達系統在定期維護保養更換耗損零件的情形下，其使用壽命亦能超過 9 年以上，故能夠有效支援政府救災、勘災行動，並且健全我國航遙測運作體系。

為因應未來機載合成孔徑雷達完成後，國內眾多單位的應用需求，本計畫於 101 年先行執行合成孔徑雷達影像於林地崩塌地及淹水潛勢判釋分析。由於光學影像與合成孔徑雷達影像的原理不同，光學影像主要為被動式獲取太陽光反射/散射目標物的光譜資訊；而合成孔徑雷達影像則為主動式發射雷達波，並透過載具的運動，多次反射/散射目標物的相位與表面資訊；也因為微波波段電磁波有穿透雲雨的特性，不易受天候的影響，波長較長的波段更可穿透植被遮蔽獲取地表資訊，本計畫即希望訂定災害發生後，合成孔徑雷達取像、影像處理到災害判釋的標準作業流程，以利災害發生時能即時提供災時的資訊；冀望合成孔徑雷達遙測影像可突破以往颱風、豪雨即淹水等緊急災害發生時，光學遙測影像無法實際觀測到目標物之限制。

貳、計畫目標

一、建立合成孔徑雷達影像處理標準作業流程。

二、建立合成孔徑雷達影像崩塌地、淹水區域及堰塞湖判釋作業標準流程。

三、依據林務局農林航空測量所的行政流程，整合合成孔徑雷達取像、影像處理及判釋作業，建立災時的標準作業流程。

參、工作範圍

一、崩塌地及堰塞湖判釋之研究範圍以臺灣全島 37 個國有林事業區擇一進行測試，並經林務局農林航空測量所同意或指定。

二、淹水區判釋之研究範圍以計畫執行期程內臺灣本島發生淹水事件之區域進行測試，若無淹水事件發生則以歷史淹水事件且有雷達衛星影像之區域進行測試。

肆、工作項目

一、建立合成孔徑雷達影像處理標準作業流程：林地崩塌、淹水及堰塞湖幾乎每年都會伴隨颱風或豪雨發生，而合成孔徑雷達影像不受天候影響的特性可即時獲得此類資訊。惟在獲得災害資訊之前，影像處理流程必須先行確立，以利判釋作業進行，例如合成孔徑雷達影像之斑駁雜訊，因為雷達波同調的干涉現象所引起的斑駁雜訊，常使得合成孔徑雷達影像在應用上受到相當之限制，故須有效地對斑駁雜訊加以濾除或降低，以提昇合成孔徑雷達影像之判斷力，通常的作法是以空間平均的方式(亦稱為多觀點處理方法)進行降低雜訊的動作，但也無可避免地犧牲了空間解析力，本研究希望透過其他濾波方法有效減抑斑駁雜訊，改善原有單張合成孔徑雷達影像之輻射品質並使處理後

之影像仍可保有原空間解析力。

二、建立合成孔徑雷達影像判釋作業標準流程：一般光學衛星影像在幾何校正後，以光譜分類，配合顏色、形狀及三維模擬地形及區域位置的方式進行崩塌地及淹水區萃取；而雷達影像則是因不同極化（VV、HH、HV 或 VH）對不同地物結構、材質產生不同的強度影像及其組合，提供豐富的雷達散射資訊，再配合顏色、形狀與地形及區域位置做為判釋之方式，可於全天時及全天候下獲取崩塌及淹水區位，若再結合多時期雷達影像與地表覆蓋類別及地形坡度等訊息，並輔以其他資訊如高程或距河遠近等資訊，可提升判釋作業之準確性，建立判釋作業標準流程。

三、建立災害發生時機載合成孔徑雷達運作的標準作業流程：合成孔徑雷達影像之應用對林務局農林航空測量所而言是一種全新的技術，為了有效且迅速獲取災區資訊，必須結合取像規則、成像流程、影像判釋流程以及林務局農林航空測量所之行政流程，建立一個標準作業流程，以期災害發生時能有效且迅速地獲得災區資訊，提供相關單位使用，內容應包括飛航取像、地面工作應配合事項、成像及影像判釋所需之軟硬體設備、流程及概估時間、各課室之工作分配與流程等。由於林務局農林航空測量所自 96 年度起推動資料倉儲管理（ATIS）系統，現行資料生產作業流程與資訊運用已建立起整體運作架構，針對未來合成孔徑雷達影像作業流程的規劃設計，亦應考量到目前 ATIS 維運管理流程上的因應作為，使未來資料獲取、處理與成果管理以無縫接軌的方式整合於現行的作業環境及流程中。

四、針對本計畫執行期程內成果進行 12 小時（含）以上之技術轉移教育訓練。

伍、成果交付項目

表 5-1、成果交付項目與期程

期別	交付文件	成果繳交日期
1	工作計畫書(書面文件 15 份、電子檔 1 份)	於決標次日起算 15 日內
	修正後工作計畫書 (電子檔 1 份)	期初審查會議通過後 10 日內
2	第一次期中報告書 (書面文件 15 份、電子檔 1 份)	於 101 年 10 月 31 日前完成
	修正後期中報告書 (電子檔 1 份)	第一次期中審查會議通過後 10 日內
3	第二次期中報告書 (書面文件 15 份、電子檔 1 份)	於 102 年 2 月 28 日前完成 第二次期中審查會議通過後 10 日內
	修正後期中報告書 (電子檔 1 份)	
4	期末報告書(書面文件 15 份、電子檔 1 份)	於 102 年 5 月 31 日前完成
	成果報告書(書面文件 30 份、電子檔 30 份)	期末審查通過後 15 日內完成

陸、工作項目與執行成果

本計畫依工作項目性質可分為：合成孔徑雷達影像產品、合成孔徑雷達影像處理與作業程序、特徵判釋及全台角反射器佈建等四項，詳述如下。

一、合成孔徑雷達影像產品

(一)合成孔徑雷達影像介紹

根據歐洲太空總署（ESA, 2007）、德國太空總署（Eineder, 2004 & DLR, 2008）、加拿大太空總署（Beckett, 2008）、日本宇宙航空研究開發機構（JAXA, 2006）以及義大利太空總署（ASI, 2009）的合成孔徑雷達產品文件，成像後的合成孔徑雷達標準影像產品依產品性質與後處理等級依序可以分為四大類：

1、單觀點複數影像產品

2、輻射校正單觀點複數影像產品

3、多觀點振幅影像產品

4、正射振幅影像產品

前兩類產品主要差異在合成孔徑雷達影像輻射校正（DLR, 2008），後兩類產品分類主要依據幾何校正的精度以及複數影像與振幅影像的差異，輻射校正為將每一像元資料透過雷達提供的校正數據或是外部角反射器轉換為電磁波散射係數。單觀點複數影像產品由於每一個像元同時記錄振幅與相位的複數資訊，其本身無法直接顯示於現有影像展示系統中，且斜距向（Slant Range Direction）與方位向（Azimuth Direction）的解析度依雷達與載具的性能差異而分別不同。因此，此類產品對於產品所在地理位置的描述資料僅有載具飛行軌跡參數而不具備影像幾何坐標資訊（ESA, 2007 及 Eineder, 2004）。多觀點振幅影像產品主要功能為將像元在斜距與方位向不同的解析度，透過多像元平均成 1:1 的比例，並投影為地距（Ground Range）向與方位向的關係，如此一來便可透過由載具飛行軌跡與地面參數的投影幾何將雷達影像像幅所在的地理坐標資訊標示出來，

鑒於複數影像有顯示方面的困難，相位資訊也會應為多觀點處理所取的像元範圍不同而有不同，因此多觀點影像通常僅記錄振幅部分（ESA, 2007 及 Eineder, 2004）。正射振幅影像為將多觀點振幅影像中所有像元依載具、雷達以及地面數值高程模型（DEM）的資料，搭配參考正射影像與選取控制點的方式將合成孔徑雷達影像中疊置、陰影以及其他幾何錯位的情況校正回來（ESA, 2007 及 Eineder, 2004）。

(二)需求訪談與會議討論

本計畫於 2012 年 09 月 26 日進行工作會議暨需求訪談會議，本工作團隊為了讓需求聚焦且凝聚共識，事先準備了需求訪談資料表，並於會議中針對各項需求問題進行討論。在訪談會議過程中，各課室對於將來機載合成孔徑雷達產品的種類與其應用範圍仍不甚明瞭，由於同一時間拍攝之機載合成孔徑雷達影像，可製作的基礎產品種類即可達 8 種以上，如表 6-1 所示。如何更有效的與參與人員說明將會是教育訓練的一大重點。而針對災害緊急應變機制的範疇，則分別訪談參與林務局農林航空測量所現有災害緊急應變機制演練的北極星測繪科技，以及專為災害緊急應變提供服務的全天候遙測資訊平台（國立中央大學通訊系統研究中心），藉以了解緊急應變所需要的程序。

表 6-1、基礎合成孔徑雷達影像產品

產品 \ 模式		航跡拍攝	航跡快視
1	單觀點低解析力合成孔徑雷達單偏極影像		●（振幅）
2	單觀點複數合成孔徑雷達單/全偏極影像	●	
3	單觀點輻射校正複數合成孔徑雷達單/全偏極影像	●	
4	多觀點低解析力合成孔徑雷達單偏極影像		●（振幅）
5	多觀點合成孔徑雷達單/全偏極影像	●	
6	多觀點輻射糾正合成孔徑雷達單/全偏極影像	●	
7	無控制點幾何糾正合成孔徑雷達影像	●	●（振幅）
8	正射化全偏極合成孔徑雷達影像	●	

基礎機載合成孔徑雷達影像產品中，每次執行拍攝作業均會儲存航跡拍攝（Stripmap）以及航跡快視（Quick Look）兩種資料，航跡拍攝資料必須另外經過影像成像處理後才會得到產品 2 或 3 的單觀點複數影像（Single Look Complex Image, SLC Image），航跡快視影像顧名思義直接輸出就是已經成像完畢的單觀點影像，也因為是快視影像，其解析度會較正常航跡拍攝成像後的產品差，僅會保留振幅影像部分；航跡快視影像的優勢就是飛機一降落，不須另外成像處理時間就有影像資料可以產出，由於此快視影像資料同時具備基本經緯度資訊，檔案容量亦較低，因此可以大幅降低資料成像處理，糾正處理以及大量資料傳遞的時間。

由於合成孔徑雷達斜距向與方位向成像方式並不相同，因此甫成像完的單觀點合成孔徑雷達影像往往會產生每一個像元中斜距向與方位向代表的解析度不同的情況，產品 4 至 6 的多觀點影像則是將產品 1 至 3 的單觀點影像資料以空間平均處理的方式將每一像元的斜距向與方位向解析度轉換至 1：1 的關係，同時降低斑駁效應，通常這類產品均會搭配後續幾何與正射糾正動作，藉以獲得正射化後的合成孔徑雷達影像。雖然在資料產出時期會產出多達 8 種的產品，不過本計畫建議最終進入倉儲系統典藏的資料，除了由飛機上下載的原始資料外，僅需包含表 6-2 中所述單觀點複數合成孔徑雷達影像、無控制點幾何糾正航跡快視影像及正射化全偏極合成孔徑雷達影像三種；主要原因為單觀點複數合成孔徑雷達影像資料可免除由原始資料進行影像成像所花費的大量時間，無控制點幾何糾正航跡快視影像及正射化全偏極合成孔徑雷達影像則是因為資料常常需要取用而保存。

表 6-2、供倉儲典藏之合成孔徑雷達影像產品

模式 / 產品	航跡拍攝	航跡快視
單觀點複數合成孔徑雷達影像	●	
無控制點幾何糾正航跡快視影像		●（振幅）
正射化全偏極合成孔徑雷達影像	●	

二、合成孔徑雷達影像處理與標準作業程序

(一)影像處理

成像後的雷達影像依前節所述不同產品等級，均需進行不同形式的影像處理動作，最終使得影像能夠符合各類型用戶需求。一般標準產品所進行的影像處理可分為輻射校正以及幾何校正兩大部分，其標準作業流程如下圖 6-1 所示。

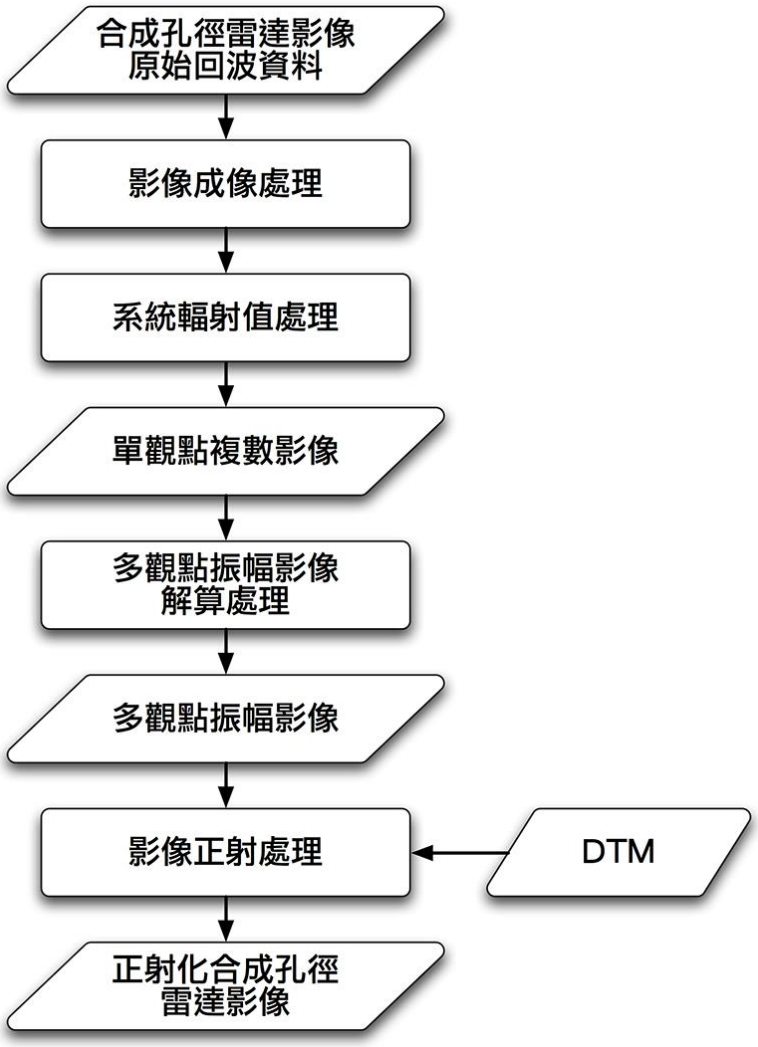


圖 6-1、合成孔徑雷達影像處理標準作業流程圖

1、輻射校正

1986 年學者 Moore 等人於微波遙測專書中提到，背向散射係數（σ^0）描述了分布式目標物（distributed targets）的雷達反應，與傳統描述點目標物大小的雷達截面積（σ）最大的差別在於背向散射係數沒有單位，僅描述了分布式目標物的物種特性，如此可避免相同物種因為分布面積不同而有不同雷達截面積值的誤判情況。對於側視的機載或星載合成孔徑雷達系統來說，地面背向散射係數可以描述為式（1）的關係：

$$(DN)^2=C\times\frac{\sigma^0}{\sin\alpha} \quad \text{.....(1)}$$

其中，DN 為一般合成孔徑雷達成像後的紀錄值、α為觀測角、C 則為常數。輻射校正的主要目的就是將紀錄值正確的校正為雷達背向散射係數，使合成孔徑雷達能藉以提供定量遙測的資訊（ESA, 2007）：例如大面積土壤含水量的測量、海面風場浪場測量、背景目標統計特性測量、地形幾何參數測量、植被和作物的精細分類及生物量估計、軍事目標的識別和分類等。校正後之合成孔徑雷達影像各像元的背向散射係數資料即可與不同時間、不同雷達、不同感測參數、不同地區的目標的訊息相互比較和匹配，實現對目標長期變化的觀測和動態檢測提供解決途徑。現今合成孔徑雷達系統中（DLR, 2008、Laur, 1992 及 Simada *et al.,* 2006），感測器本身均會將自身輻射校正參數以及定期校正修正量登錄於詮釋資料中；在全偏極的輻射校正上，相關的文獻（DLR, 2008 及 Simada *et al.,* 2006）中均提到，除了接收信號強度與散射係數的校正外，不同極化信號間的相對相位的校正也是合成孔徑雷達影像產品輻射校正的重要課題，這部分亦可透過感測器內部校正或地面反射器的外部校正登錄於影像詮釋資料中提供用戶使用。

2、幾何校正

幾何校正的目的是校正影像幾何扭曲的狀況，使合成孔徑雷達影像能與地理坐標匹配。幾何扭曲的主因是合成孔徑雷達系統採用側視，成像原理為斜距投影，加上地形起伏的影響，感測器與目標物間會有複雜的幾何關係影像，因此所產生的合成孔徑雷達影像上的地形也很容易被扭曲變形，故須進一步校正。2004 年學者 Lillesand 及 Kiefer 提出：廣義的說，幾何校正應包含兩種意義，一般的幾何校正與正射化校正。前者僅就全幅影像地理坐標進行校正，後者除全幅地理坐標校正外，對於合成孔徑雷達影像在高程較高的地區，所產生的幾何變形進行校正，因此有較好的精度。

一般的幾何校正，僅為將影像本體投影至現有地圖系統，因此可透過（A）

使用機載合成孔徑雷達自身 GPS 紀錄高度、坐標、IMU 獲取飛機當時的姿態參數以及雷達系統觀測角度等資訊，直接以感測器與目標物的幾何關係進行幾何校正計算，最後將影像投影至給定的地理坐標空間中（Toutin, 2004）。(B) 透過選取標準地圖上容易辨識之控制點，同時在雷達影像上選取相同之點位坐標，求取兩者間之相對應關係，再以不同的數學模式（Lillesand 及 Kiefer, 2004 及 Toutin, 2004）進行影像的幾何校正。上述兩種方法與現有光學系統幾何校正方法近似，在地表起伏不大的地物環境均可提供精確的影像地理坐標資訊。但是合成孔徑雷達影像由於是主動系統在地表有高程變化地區，或是影像已經因為高程產生的前坡縮短（Foreshortening）、遮蔽（Shadow）或疊置（Layover）現象時，則僅能透過正射化處理對合成孔徑雷達影像進行精密幾何校正，1992 年學者 Wivell 等人提出合成孔徑雷達影像正射化校正必須加入該合成孔徑雷達影像區域的數值高程模型資料（DEM），且計算方式是以數值高程為依據，推算每一像元載具航跡參數與目標物間的幾何關係，再以此航跡參數來求取相對應之影像坐標值。當然若缺少 DEM 資料的地區亦可利用載具航跡參數、雷達系統觀測角度以及控制點等資料進行幾何糾正。正射化完畢後的合成孔徑雷達影像將可輕易與其他感測器影像透過相同地理坐標系統而套疊在一起。當然做完幾何處理後的合成孔徑雷達影像產品亦會將其地理資訊登錄於詮釋資料中。

(二)常態與緊急應變標準作業程序

為避免機載合成孔徑雷達資料產製因操作人員不同而產生成果上與時間上的差異，關於合成孔徑雷達的產製標準作業程序的建立是有其必要性的。以未來機載合成孔徑雷達任務需求而言，作業程序可分為常態標準作業以及緊急應變標準作業兩個方向執行，茲分述如下：

1、常態標準作業程序

在常態標準作業程序部分，由 ESA ENVISAT 產品手冊及 ASI Cosmo-SkyMed 衛星產品手冊中可瞭解，各星載合成孔徑雷達的管理單位，皆有出版產品手冊，由於大多已進行商業運轉，因此從影像接收到產品產出的標準作業程序以及產品相關規範都有包含在手冊中，以維持產製品質。而中央大學資源衛星接收站亦針對衛星雷達影像的產製標準作業提出過相關報告（許書敏，2006），文中從硬體設備架構出發建立衛星雷達影像的產製標準作業流程，指出現有架構在產品及時產製時的極限以及設備需要改善的地方。此外，在林務局農林航空測量所航遙測圖資供應平台對外服務與流通業務功能開發的報告（林務局農林航空測量所，2011）中也提及現行彩色正射影像的標準作業程序，此部分資料對於後續執行合成孔徑雷達產品產出時各課室人員的安排是有幫助的。

2、緊急應變標準作業程序

關於緊急應變，德國太空總署衛星災害資訊中心（Zentrum für Satellitengestützte Kriseninformation - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, ZKI-DLR）於 2007 年發表關於災害應變支援的文章（Voigt *et al.*, 2007），其中明確的定義了德國太空總署衛星災害資訊中心的角色以及所應負責的項目，如圖 6-1 所示。

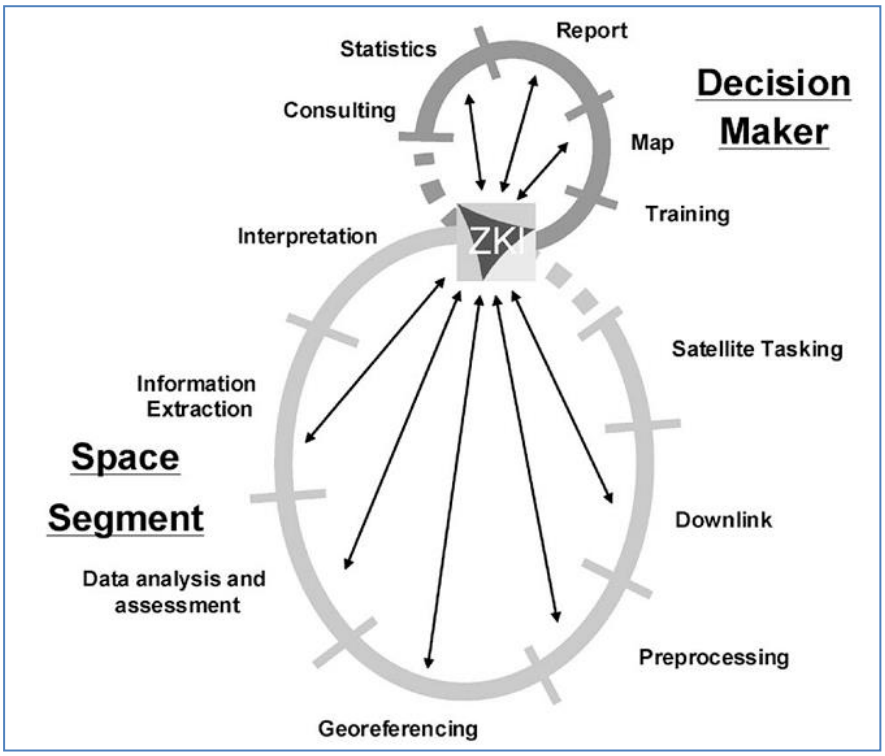


圖 6-2、德國太空總署衛星災害資訊中心災害應變工作分配環形圖

圖 6-2 中所示，空間部門（Space Segment）負責向各類型遙測衛星下需求取像與處理，就如同林務局農林航空測量所負責機載合成孔徑雷達取像的角色；而決策者（Decision Maker）則相當於災防中心角色。而德國太空總署衛星災害資訊中心（ZKI）就等於林務局農林航空測量所因應災害發生而啟動的緊急應變小組。文獻中，德國太空總署衛星災害資訊中心以多個地區的海嘯、地震以及豪雨崩塌的案例，強調了多元資料整合與產製時間的迫切性。此外，芬蘭國家技術研究中心（Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, VTT）ENVIMON 觀測專案（Louhisuo *et al.,* 2004）中也提到，透過整合單一管理平台架構進行遙測影像取像、分析與分送是災害緊急應變中最重要的一環；相同的，林務局農林航空測量所的 ATIS 倉儲系統本身即是一功能強大的資料管理平台，且已開始進行光學影像緊急應變機制的應用。因此架構在此一平台進行擴充機載合成孔徑雷達資料的災害應變作業將會是較符合效益的。關於應用機載合成孔徑雷達進行緊急應變的細部作業程序，由

於牽涉各國自身民航與政府規範，經查詢並無公開的文獻資料可供參考，然而國內在星載合成孔徑雷達緊急應變處理從 921 震災以來，對震災（高郡汝等，2008）、水災（水利署，2006）及風災（水保局，2008）均有相關的星載合成孔徑雷達緊急應變處理文獻；在國科會經費補助下，2011 年國立中央大學通訊系統研究中心開發上線服務的全天候遙測資訊平台（國科會, 2011），亦於 2012 年多次天然災害時期發揮星載合成孔徑雷達系統緊急應變的功能。本次林務局農林航空測量所機載合成孔徑雷達系統的緊急應變標準作業程序將根據德國太空總署衛星災害資訊中心、芬蘭國家技術研究中心、林務局農林航空測量所倉儲作業 ATIS 系統以及國內星載合成孔徑雷達緊急應變經驗，整合出處理時間最短正確率高的作業流程。

(三)現行應變流程 AS IS 與未來應變流程 TO BE 分析

本工作團隊成員北極星測繪科技有限公司，因長期維運及開發 ATIS 航遙測影像圖資供應平台，因此十分熟稔作業流程，同時在進行需求訪談與會議討論後，參考各年度計畫報告，依據 SIPOC 模型提出現行光學感測器緊急應變 AS IS 分析與未來因應合成孔徑雷達系統的緊急應變流程 TO BE 分析（林務局農林航空測量所，2010、2011）。

SIPOC 模型由學者 Deming 提出，特別是針對組織流程管理及改造提供了一個有效分析的方法。SIPOC 主要是由 Suppler 供給，Input 投入，Process 過程，Output 產出和 Customer 客戶等字詞的第一個字母集合縮寫，最早是應用在 6 Sigma(每百萬個產品中最多只有 3.4 個產品不良（ppm），也就是說每百萬次的操作/作業中，最多只有 3.4 次操作/作業錯誤）中 DMAIC（Define 定義、Measure 測量、Analyze 分析、Improve 改善和 Control 控制）的 Define 定義階段，通常是用來顯示業務流程中的重要活動或者企業流程中的次級流程的方法，其好處是有助於界定流程的界限和構成要素（Deming, 2000、Peter *et al.,* 2000 及戴久永，2005）。

1、現行緊急應變 AS IS 分析

本計畫針對現行（AS IS）應變流程進行 SIPOC 分析，如圖 6-3 所示。客觀環境來說由於目前所上僅為執行光學系統取像業務，在豪雨或颱風這類災害時，其會有較長的時間在待命程序，介接單位也會因為天候不佳容許較長的資料供應與發布時間。

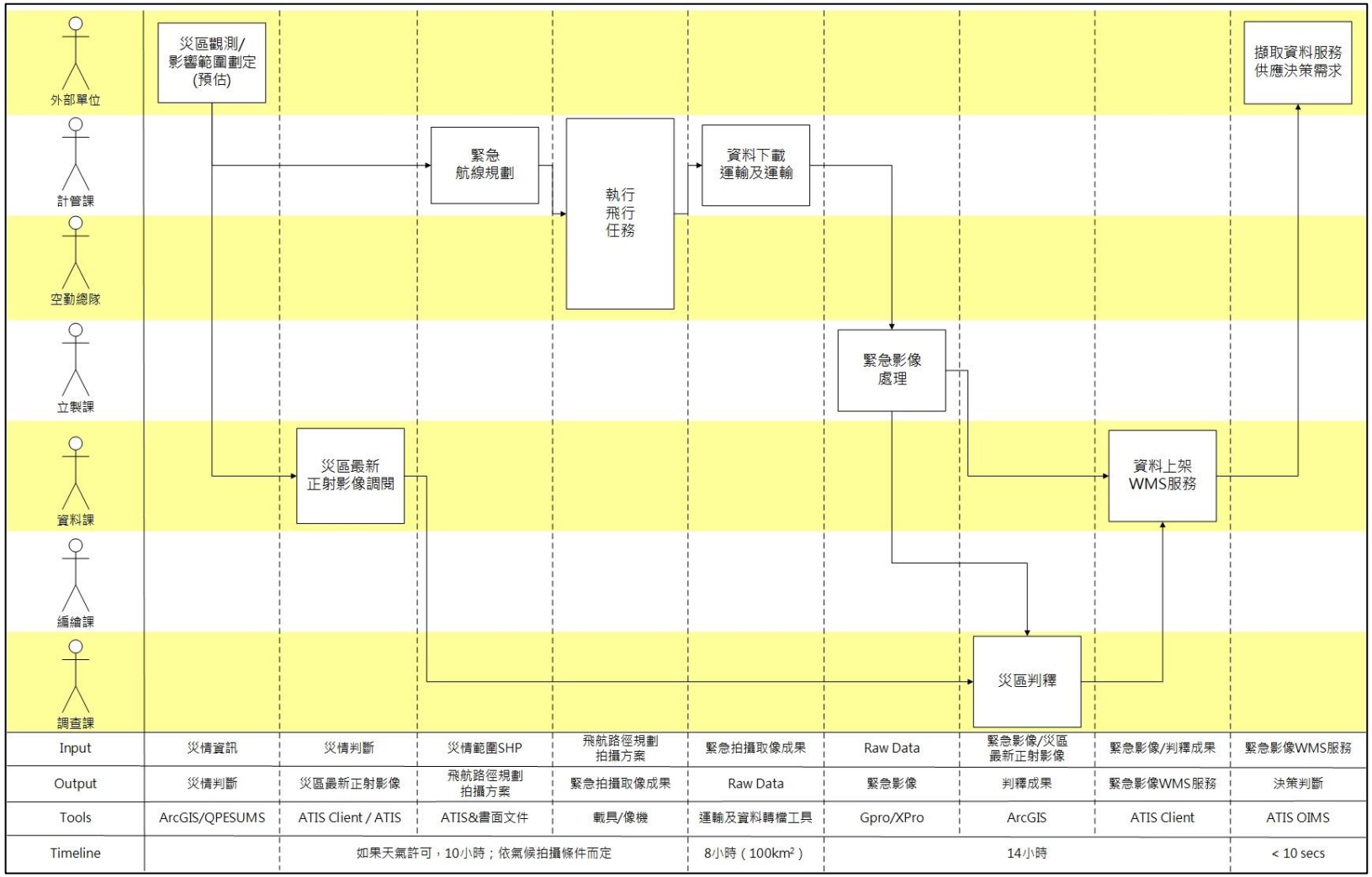
而各課室緊急應變時，依據林務局及災防單位等外部所提出的緊急應變範圍需求或預判。整備事項包括：應變災區範圍最新影像資料，以提供最新的現況資訊；之後，資料課提取已拍攝的最新正射影像，並確認災區範圍，分別提交至計管課與調查課進行緊急飛航任務的規劃與後續災害判釋準備。資料取像後，由立製課進行緊急影像的處理，處理完畢之緊急影像，

分別交付資料課與調查課，發布 WMS 服務以及災害判釋。最後調查課判釋完成的成果，再交由資料課發布 WMS 服務，完成資料的供應與服務。

在整個過程資料取像後，囿於內業應變處理的空間地理位置因素及資訊運作環境不足因素。因此資料從載具下載與傳輸運送的作業流程階段，龐大的資料下載需要一定量時間，同時目前仍以傳統的運輸方式進行，在應變效率的影響上，若能改善這一個流程的瓶頸點，相信能有效的提升緊急變資料供應服務的效率。

2、機載合成孔徑雷達災害緊急應變機制

為了提供未來機載合成孔徑雷達災害緊急應變標準作業程序，將現行應變流程以及星載合成孔徑雷達災害緊急應變機制的經驗，整合為機載合成孔徑雷達災害緊急應變處理程序，同時包含現有倉儲與發布系統作業。圖 6-4 為整合後的災害緊急應變標準作業程序架構圖。其中上半部大框框選項目即為情資蒐集部分。由圖 6-4 可知機載與星載合成孔徑雷達作業程序最大的差異在載具飛行模式以及資料獲取的方式，大體上可分為下面幾點討論。



Input	災情資訊	災情判斷	災情範圍SHP	飛航路徑規劃 拍攝方案	緊急拍攝取像成果	Raw Data	緊急影像/災區 最新正射影像	緊急影像/判釋成果	緊急影像WMS服務
Output	災情判斷	災區最新正射影像	飛航路徑規劃 拍攝方案	緊急拍攝取像成果	Raw Data	緊急影像	判釋成果	緊急影像WMS服務	決策判斷
Tools	ArcGIS/QPESUMS	ATIS Client / ATIS	ATIS&書面文件	載具/像機	運輸及資料轉檔工具	Gpro/XPro	ArcGIS	ATIS Client	ATIS OIMS
Timeline		如果天氣許可，10小時；依氣候拍攝條件而定			8小時（100km²）		14小時		< 10 secs

圖 6-3、現行緊急應變機制 AS IS 分析圖

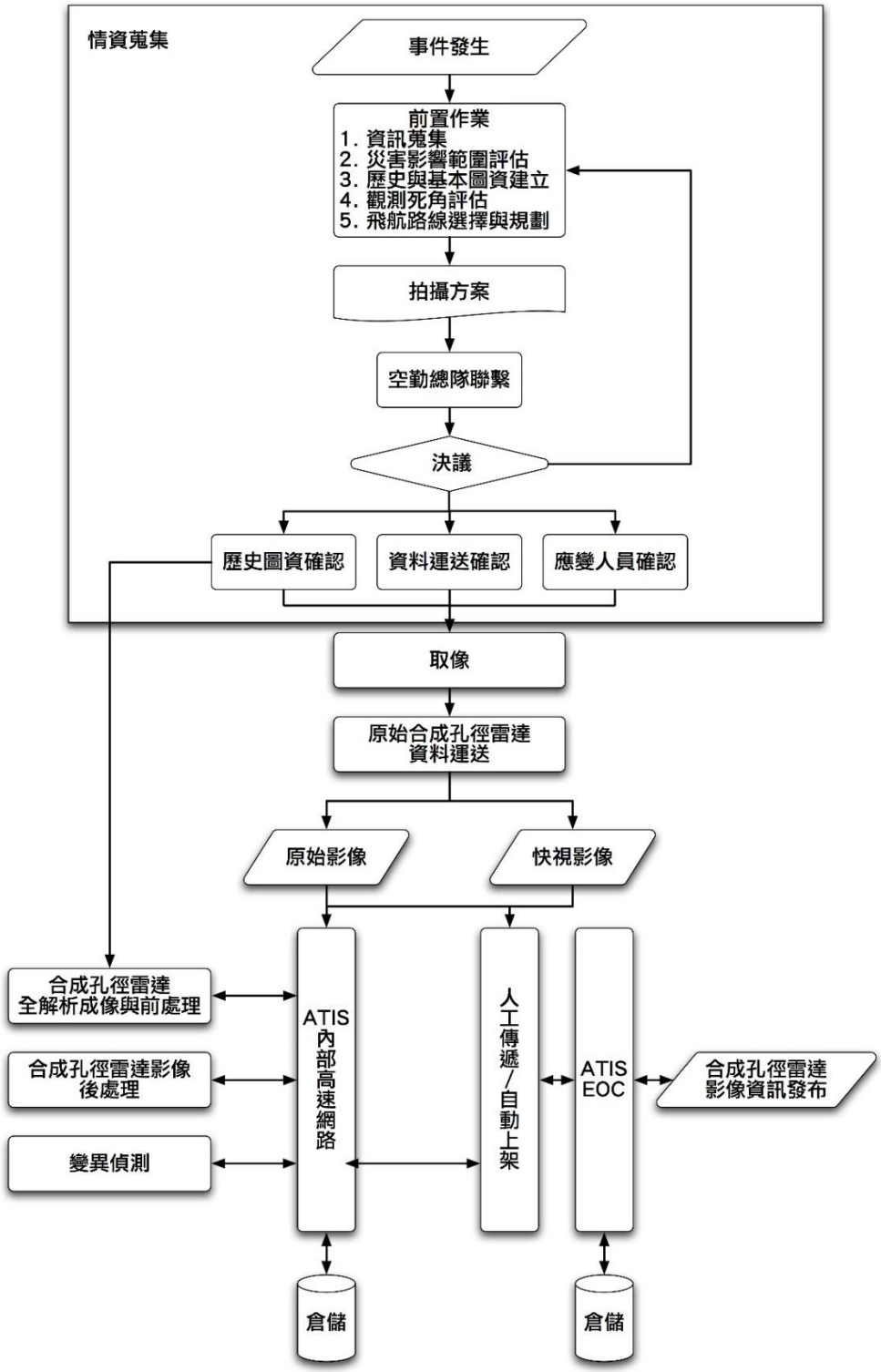


圖 6-4、林務局農林航空測量所緊急應變機制中將現行 ATIS 系統與機載合成孔徑雷達取像整合

(1).空間軌道與航線規劃

星載合成孔徑雷達飛行軌道重複周期幾乎都是固定的，而且衛星進入軌道後僅能透過衛星接收站對衛星進行任務操控以及資料接收作業，為了兼顧觀測範圍，再訪率以及全球覆蓋率，衛星往往透過多種觀測模式以及多衛星共軌的方式來改善，提高緊急應變時的應用機會(Louhisuo *et al.,* 2004)。機載合成孔徑雷達本身即為提供高度機動性觀測，20,000 呎的飛行高度也提供了與星載合成孔徑雷達 Spotlight 模式相當的觀測範圍，對於災害來臨時唯一限制因素就是現場天候條件是否可供飛機起降，在緊急應變所需最短時程的前提下，飛機轉場、起降規劃及資料運送就是機載合成孔徑雷達緊急應變任務中最重要的一環。現有林務局農林航空測量所光學航拍系統起降均統一在台中清泉崗機場，影像從飛機取出後利用汽車與高鐵接駁至台北所本部進行資料轉檔與正射化作業，由於光學系統可以進行拍攝時間天候條件均已不會對陸上交通產生任何影響，因此在資料傳遞的需求上較不易遭遇天候因素造成之地面交通停駛情況；但因合成孔徑雷達可穿透雲雨的特性，在天候不佳時仍可獲取第一手地物變異資料。如取得資料後卻因天候因素造成機場關閉以及地面交通停駛，這時就必須規劃出最有效資料傳遞路線，透過政府/民間光纖網路或同步衛星高速通訊網路也都是可行的方案。表 6-3 為考量全台六處機場作為轉場起降點時，所花費的資料傳遞時間計算。由表中可知，若網路品質持續達到 35Mbps，透過在機場內的機房專線傳遞資料會是速度最快的。當然若機房不再機場內 (如台中地區目前已知須前往國家實驗研究院國家高速網路與計算中心)，則仍須考量資料傳遞的陸上時間，但整體而言網路傳遞速度仍優於全程透過交通工具運送。

表 6-3、全台六大機場緊急應變資料傳遞與影像產出時間預估表

降落機場	陸上交通時間（分）	網路傳輸時間（分）（2 幅，5x20 公里）	快視提供時間（分）	首幅成像時間（分）（單/全偏極）	正射化時間（分）	其他預留時間（分）	總花費時間（分）正射單偏極/正射全偏極/快視
台北	20	---	0	45/180	120	15	200/330/35
台中	10（國網）	2（單偏極） 8（全偏極）	0	45/180	120	15	191/332/26
	120（台北）	---	0	45/180	120	15	300/425/135
台南	5（機場內）	2（單偏極） 8（全偏極）	0	45/180	120	15	186/317/21
	140（台北）	---	0	45/180	120	15	320/445/155
高雄	5（機場內）	2（單偏極） 8（全偏極）	0	45/180	120	15	186/317/21
	150（台北）	---	0	45/180	120	15	330/455/165
花蓮	5（機場內）	2（單偏極） 8（全偏極）	0	45/180	120	15	186/317/21
	150（台北）	---	0	45/180	120	15	330/455/165
台東	5（機場內）	2（單偏極） 8（全偏極）	0	45/180	120	15	186/317/21
	180（台北）	---	0	45/180	120	15	360/485/195
註：網路速度：上/下載 50Mbps，效率：70%							

(2).資料處理

現有星載合成孔徑雷達的資料，大多向衛星公司或代理商提交需求，俟拍攝完畢一定時間後以遠端或接收站資料下載的程序完成資料獲取；原始資料的成像處理過程通常由衛星公司本身完成製作，才會提供下載或寄送。機載則為透過飛機直接執行飛航規劃觀測取像任務，並於降落後直接或透過遠端程序獲取原始資料進行成像。林務局農林航空測量所本

次所採用的合成孔徑雷達系統，因應即時快視影像處理，單偏極快視影像在飛機降落後即可馬上取得，原始紀錄高解析的合成孔徑雷達影像資料已完成脈波方向壓縮處理。在處理速度的能力上，使用兩部 Intel Xeon E5-2667 雙 CPU 及 64GB 記憶體的 Dell T620 伺服器，處理每個極化高解析合成孔徑雷達影像資料每 100 平方公里（5 公里 x20 公里）需要 45 分鐘；全偏極高解析合成孔徑雷達影像成像則需要 180 分鐘。以台灣本島面積約 36,000 平方公里估計，單偏極全台未經正射化之合成孔徑雷達影像單偏極成像需要近 12 天處理，全偏極影像則需 45 天。至於全島正射化影像，首次產製時由於參考影像問題需花費較多時間（大於 4hr/每幅），但是首次產製完成後此批合成孔徑雷達正射化影像即可作為往後正射化用參考影像，此時只要飛行航跡固定，機載合成孔徑雷達後續正射處理將比受日照影響的光學影像更快速。

(3).產製管理與資料倉儲

為了於緊急應變時能縮短災時資料產出時程，機載合成孔徑雷達影像處理至產出流程必須與現行 ATIS 倉儲系統整合，圖 6-5 流程圖右側為將機載合成孔徑雷達緊急應變獲取與現行 ATIS 倉儲系統整合的應變流程圖。取像後的合成孔徑雷達資料透過資料運送程序先行將一份快視影像以自動或人工方式獨立上架至林務局農林航空測量所現行 ATIS 對外伺服器（ATIS EOC）發布，另一方面所有取像資料則透過 ATIS 內部資料管理網路（ATIS Intra）進行成像與後處理流程管理，處理完後的合成孔徑雷達精密糾正與判釋成果再透過人工傳遞自動上架程序傳遞至 ATIS EOC 倉儲系統中。取像至快視影像上架提供各單位介接使用依降落機場別亦應控制於 40 分鐘（網路）或 3 小時（陸運）內完成。為求時效性，ATIS 內部高速網路系統中，必須配置明確的資料處理程序提醒系統。在人員配置上，根據上節資料處理時間，兩部成像伺服器同時產製 50 平方公里（5 公里 x10 公里）範圍的單偏極影像需時 45 分鐘；每幅正射化以目標時間

2 小時計，期間內共可產出四幅共計 200 平方公里單偏極影像；因此若需進行正射化處理，以現行林務局農林航空測量所架構配置 4 名人員進行正射化作業是較為合理的。

為求緊急災害應變時效性，現有災時取像作業應採小範圍拍攝多次起降模式，降低資料處理負擔。亦應盡量縮短資料運送時程，並分散災時林務局農林航空測量所單點使用頻寬暴增，最好能在落地機場即有全套處理發佈系統以及相關人員可進行成像、正射與上架發布作業。

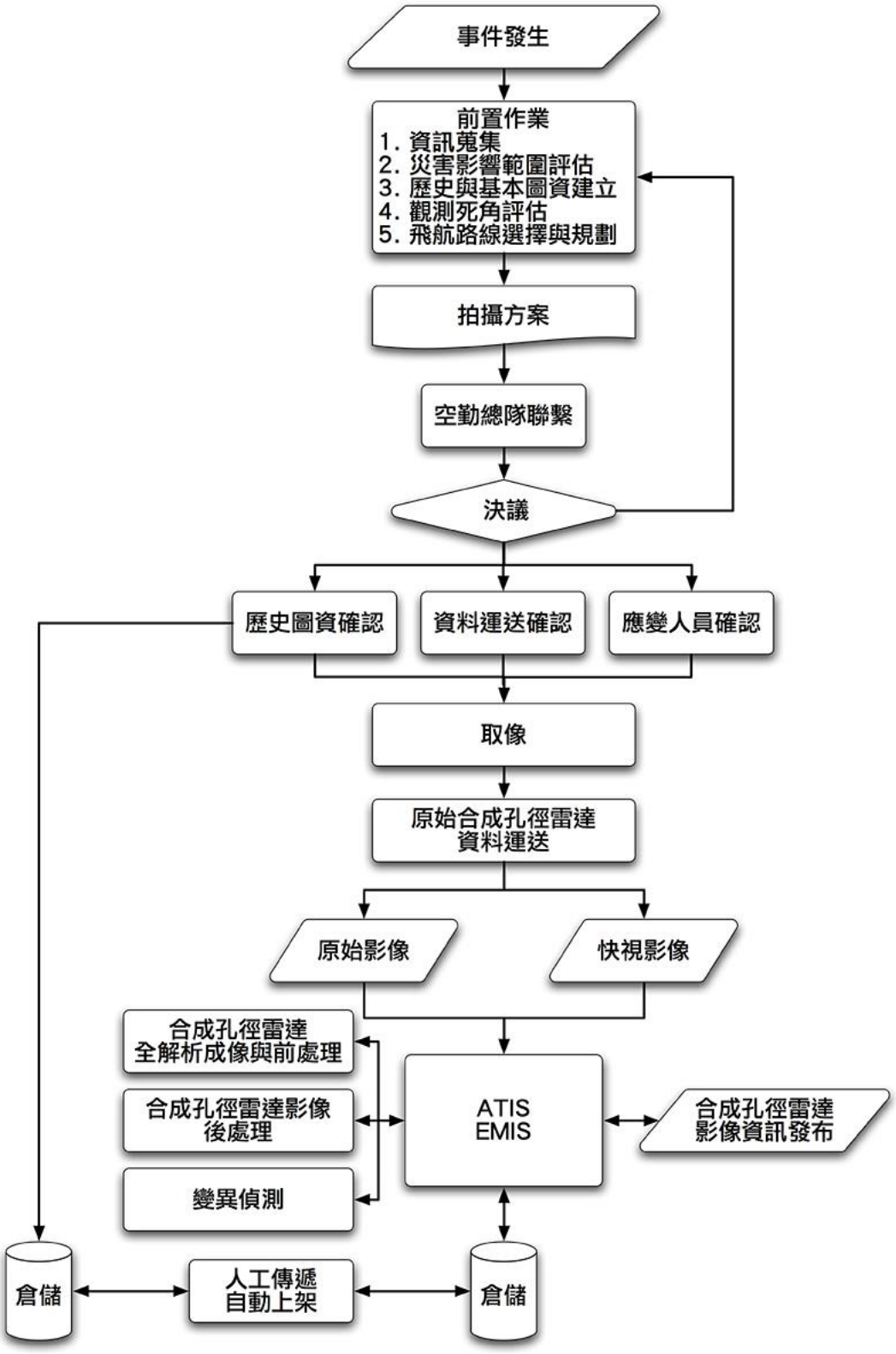


圖 6-5、林務局農林航空測量所緊急應變機制中將現行 ATIS 系統升級為 ATIS 緊急事件架構（ATIS EMIS）

3、未來緊急應變 TO BE 分析

現行依照課室安排的緊急應變措施，除會造成某些課室一直無法參與外，由於目前光學緊急航拍仍屬於晴天才需出勤的任務性質，因此在汛期颱風災害時，直接於災中處理資料的壓力相對較低。針對未來合成孔徑雷達系統緊急應變，本計畫建議打破既有課室安排，改採任務分配制，如此可以充分使用所有課室人員作為人力庫調度。各類別人員平時於原本課室執行一般業務，於緊急應變啟動時才進入各自責任編組，人員輪班與加班亦依各組人數調配而定。將前述機載合成孔徑雷達緊急應變工作項目改採 TO BE 分析後，如圖 6-6 所示，工作人力將分為應變規劃人員、應變上架人員、影像處理人員及影像判釋人員四大類，在資料取像下機前均為應變規劃人員業務，包含前期影像調閱、拍攝規劃以及執行航拍等；資料下機後下載處理則為影像處理人員業務，幾何處理完成影像即同時分別交付應變上架人員與影像判釋人員進行緊急上架與判釋處理動作，判釋完畢資料亦透過應變上架人員上架完成一次事件處理。

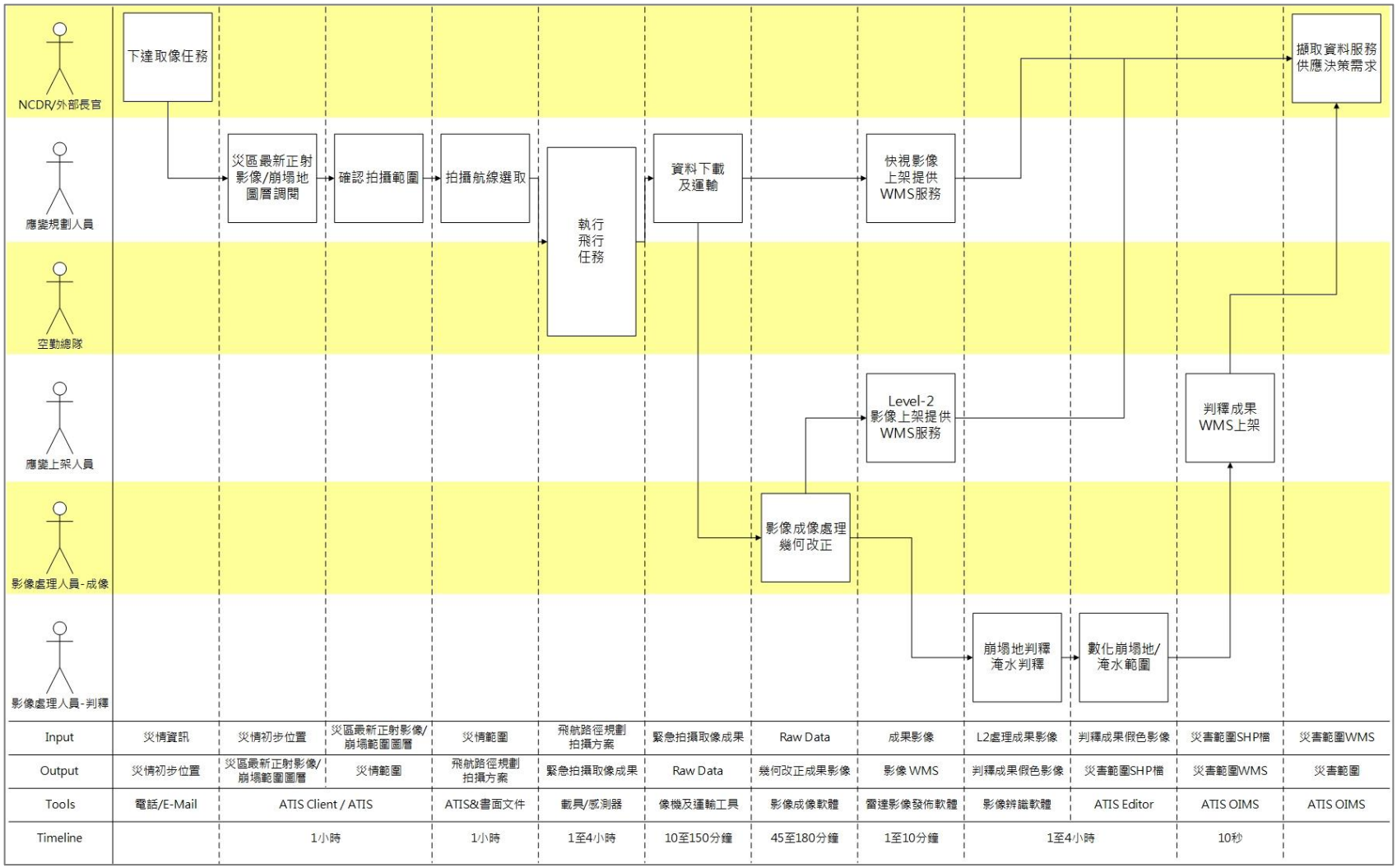


圖 6-6、未來緊急應變機制 TO BE 分析圖

為加速處理流程，一般緊急應變有採用將所有應變人力集中的實體應變中心以及透過應變管理軟體控管的虛擬應變中心兩種，如表 6-4 所示。實體應變中心（如國家災害防救科技中心）需要建構於災害發生，才使用的實體操控台以及人員工作空間，若隸屬該應變中心下的各單位人員互相工作無從屬關連，則此架構雖然投資較多資源亦能得到相對高的執行效率；虛擬應變中心為透過管理軟體管制需要應變的人員，由於不需所有人待在同一個實體空間中，在人員管控上並無實體應變中心方便，不過若應變中心下各單位人員相互工作有其從屬關係，虛擬應變中心可以省卻從屬工作間須待在實體空間的等待，加上虛擬應變架構下，各工作人員均使用自身原來的工作設備，熟悉度定優於實體應變中心，由於林務局農林航空測量所緊急應變各項工作均有其從屬關係，因此建議採用虛擬應變中心的架構，各人員間可透過能與緊急應變的 ATIS 任務指派系統介接的處理軟體進行處理程序提醒及資料傳遞的動作。

表 6-4、實體與虛擬應變中心特色比較

實體應變中心	虛擬應變中心
人員容易控管	人員使用熟悉工作環境
訊息與資料交換直接	無額外等待時間
須建立獨立硬體環境與空間	須建立應變管理監控軟體
適合各處室工作無主從關係之應變編制	適合各處室工作有主從關係之應變編制

透過 TO BE 分析圖，可以清楚了解在緊急應變時間預估部分，依 TO BE 分析圖可分為，任務規劃期、拍攝取像期、資料運送期、成像處理期、資料上架期以及影像判釋期六大階段，相關時程如前節所述，任務規劃期視災害種類會有數小時至數天的追蹤研判(如：颱風)，在確定拍攝項目地區後，大約花費一小時進行飛航路線規劃準備工作。拍攝取像視拍攝項目與路線規劃決定時間長短，以目前林務局農林航空測量所航空器最大航程時間約在 4 小時，扣除爬升與飛行至作業區時間，約可有 2 個小時多可進行目標

區取像。飛機落地後原始資料運送時間視運送方式而定，若採實體運送，依降落地點時間約在 20 至 150 分鐘間，若採網路傳輸則約在 10 分鐘內 (5 公里 x20 公里資料，50Mbps 雙向網路，70%傳輸效率)。成像處理時間以提供合成孔徑雷達系統成像處理器規格，單偏極快視影像可即時提供，50 平方公里的幾何糾正影像則須 45 分鐘 (單偏極) 至 180 分鐘 (全偏極) 的處理時間，若需進行影像正射化處理則需額外 2 個小時的處理時間。資料判釋花費時間則須根據災害類型與範圍決定，以單幅影像進行前後期匹配、濾波處理、變異區圈選等動作，其時間約是 1 至 4 小時不等。此外，各級資料的上架時間若是自動上架則可無時間差，若為人工資料傳遞上架，則每幅影像約增加 10 至 20 分鐘 (視資料量)。綜觀上述時程，整個緊急應變取像從開始飛航規劃到第一時間快視影像上架最短耗時約 3 小時 (飛行時間 1.5 小時，取像面積>300 平方公里)，若需處理至正射影像則需耗時約 6 小時 (單偏極) 至 8 小時 (全偏極)，判釋部分若僅透過幾何糾正影像進行小區域判釋最短 5 小時 (單偏極) 至 7 小時 (全偏極) 可以上架完成，若以快視影像直接判釋則約可縮短至 4 小時上架完成。

(四)飛航路線規劃

南北向飛航路線規劃依林務局農林航空測量所現行南北 80 條空拍航線，並因應合成孔徑雷達測試取像，進行標號平移與率定南向或北向飛行，此外另於東西方向固定間距訂定 136 條航線。東西向平時僅於山區部分觀測補足拍攝死角，緊急應變時期由於東西/南北向航線均已建立編號，並以棋盤格形式分布全台，因此在臨時規劃航線時可以快速訂出所需飛行航線的起始點位，可有效提升臨時航線規劃速度。為避免過多陰影與疊置效應的山區可以北偏東 5 度飛行取像作業，經合成孔徑雷達模擬分析後確認可行，如圖 6-7 所示。惟在全台規劃錯縱複雜的飛航路線並非本計畫所希望，因此改採折衷方式，航線編號仍以南北或東西向，山區受影響部分以航線編號搭配起始與結束坐標進行直線飛行取像。換言之山區拍攝航線規劃可能是以起始航線 7（經緯度）結束航線 9（經緯度）的形式呈現。如此可降低航線規劃的複雜度。由於收到來自於合成孔徑雷達硬體廠商的最終雷達觀測角資料，經過重新分析，如圖 6-8 與圖 6-9 所示，目前南北同向飛行與相鄰航線編號的觀測面積重疊率約為 2.4 公里（48%），亦可滿足航空測量所需的 30%航帶相鄰重疊率。在南北異向飛行時，如圖 6-10 所示，觀測同一地區的航線編號相差 4，重疊距離為 3.1 公里（61%）。在東西向飛行時，如圖 6-11 所示，同向相鄰與異向編號相差 3 的航線均可提供 2.1km（42%）的重疊率。

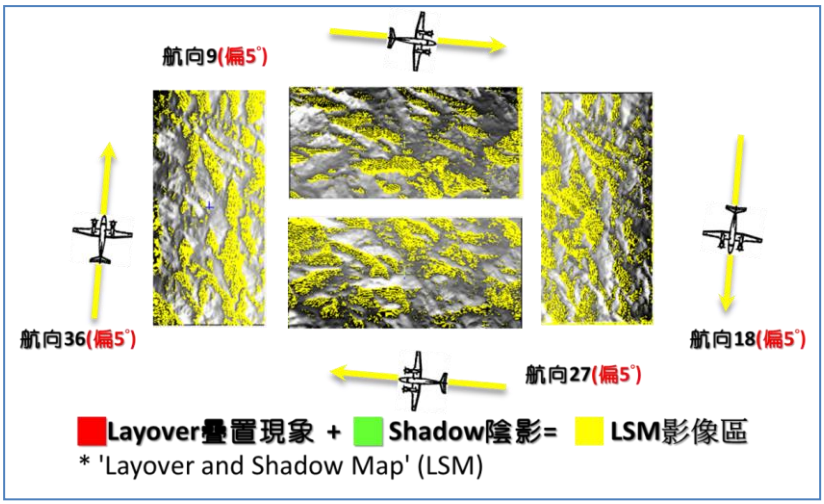


圖 6-7、5 度航向疊置與陰影分析

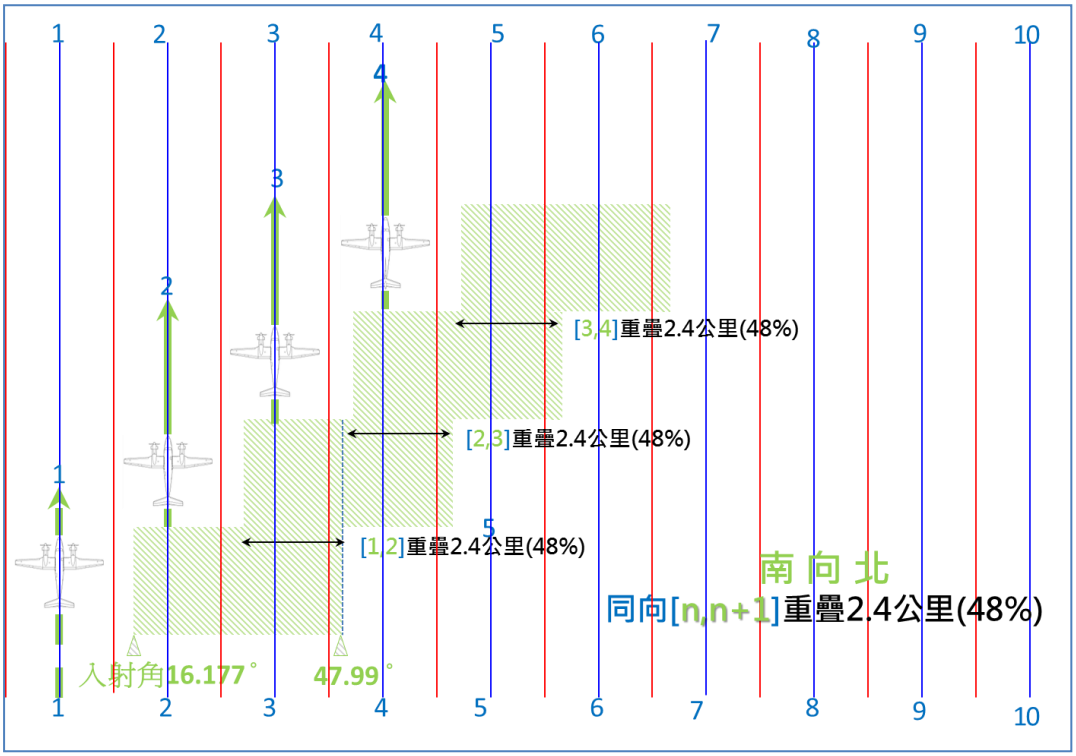


圖 6-8、南向北同向相鄰航線取像重疊率

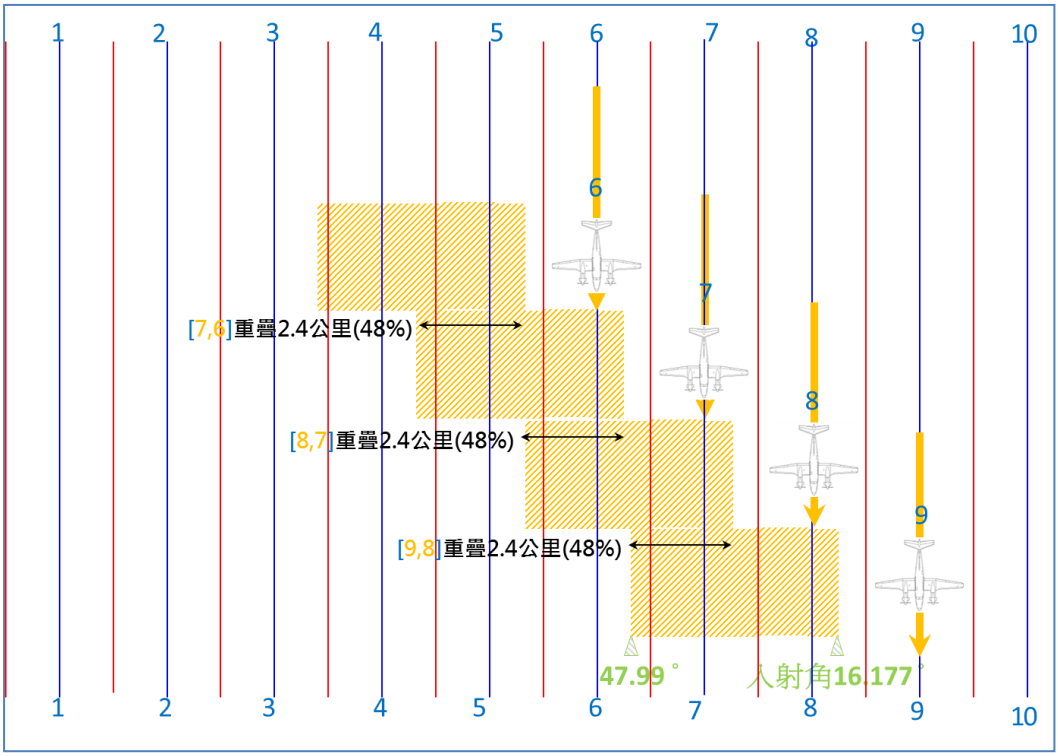


圖 6-9、北向南同向相鄰航線取像重疊率

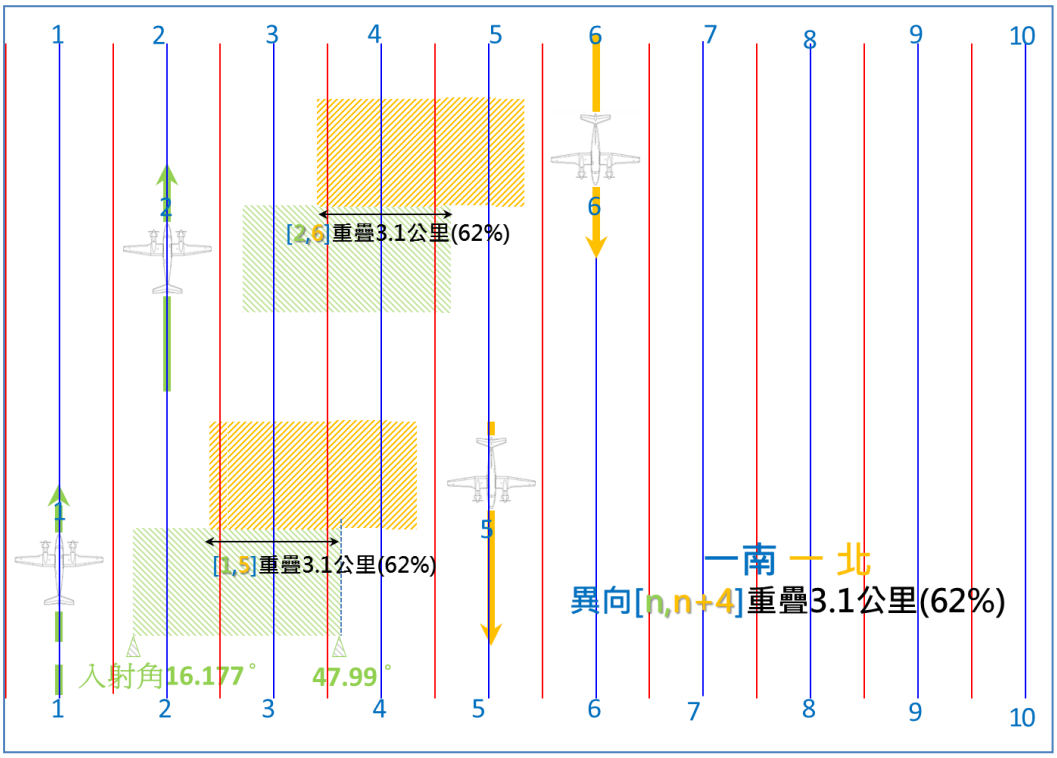


圖 6-10、南北異向飛行相同測區航線示意與取像重疊率

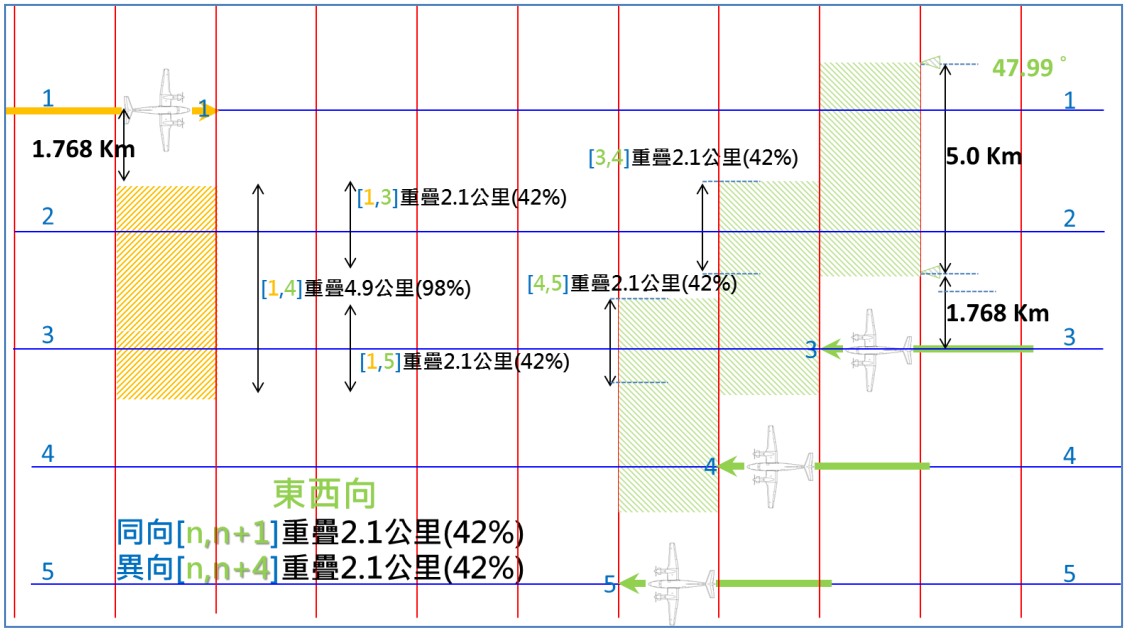


圖 6-11、東西同異向飛行相同測區航線示意與取像重疊率

針對台灣東部較為陡峭的山區，實際進行多航帶的合成孔徑雷達模擬拍攝成像，以北向南（或南向北）航線，每條航帶單獨涵蓋地面 5 公里，航帶與航帶

間重疊 2.4 公里（即左右重疊達 48%）進行，以蘇花公路地區為例，因航高僅 20,000 呎（6,096 公尺），相對斜距近邊（Near Range）處，因雷達波時間低於最大脈衝寬（Pulse Width），導致無法收到雷達回波；因而產生無資料區域；如圖 6-12 中第 67 至 72 航帶所顯示的白色條狀部位。

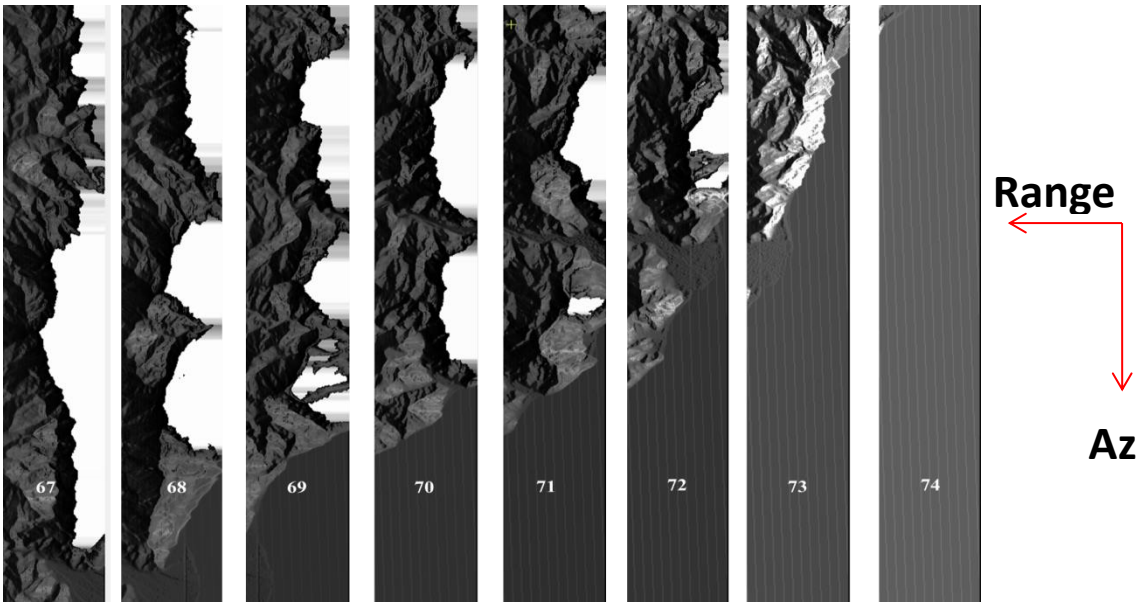


圖 6-12、蘇花公路北向南飛行測區模擬成像圖

而此類無資料區域，可藉由航帶拍攝重疊區域進行鑲嵌，即可消除，如圖圖 6-13 所示。其完整的北向南（或南向北）同向飛行測區模擬成像如圖 6-14 及 6-15 所示，其中紅色圈選處的白色區域，乃因飛行載具航高不足，所產生區域性無資料現象。

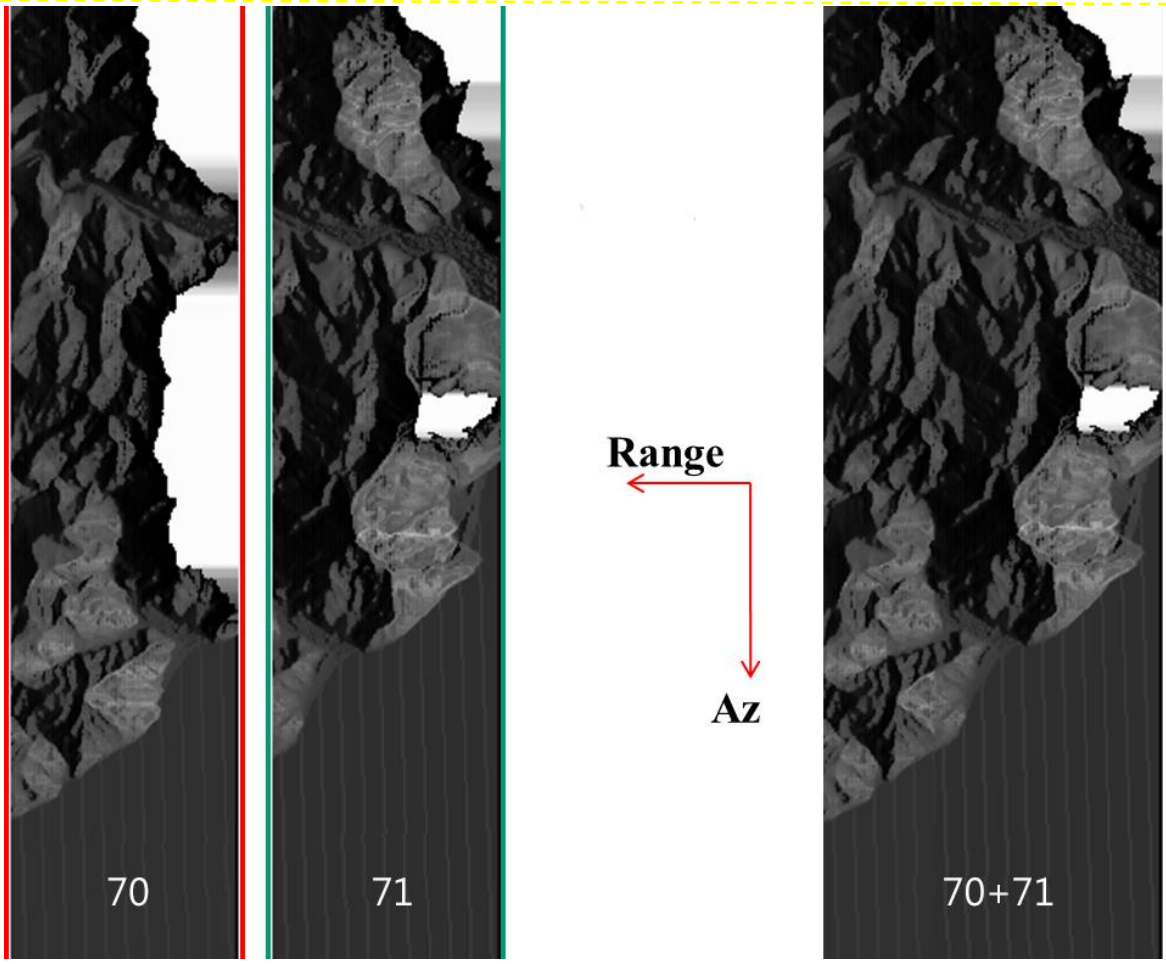


圖 6-13、蘇花公路北向南飛行測區模擬成像鑲嵌示意圖

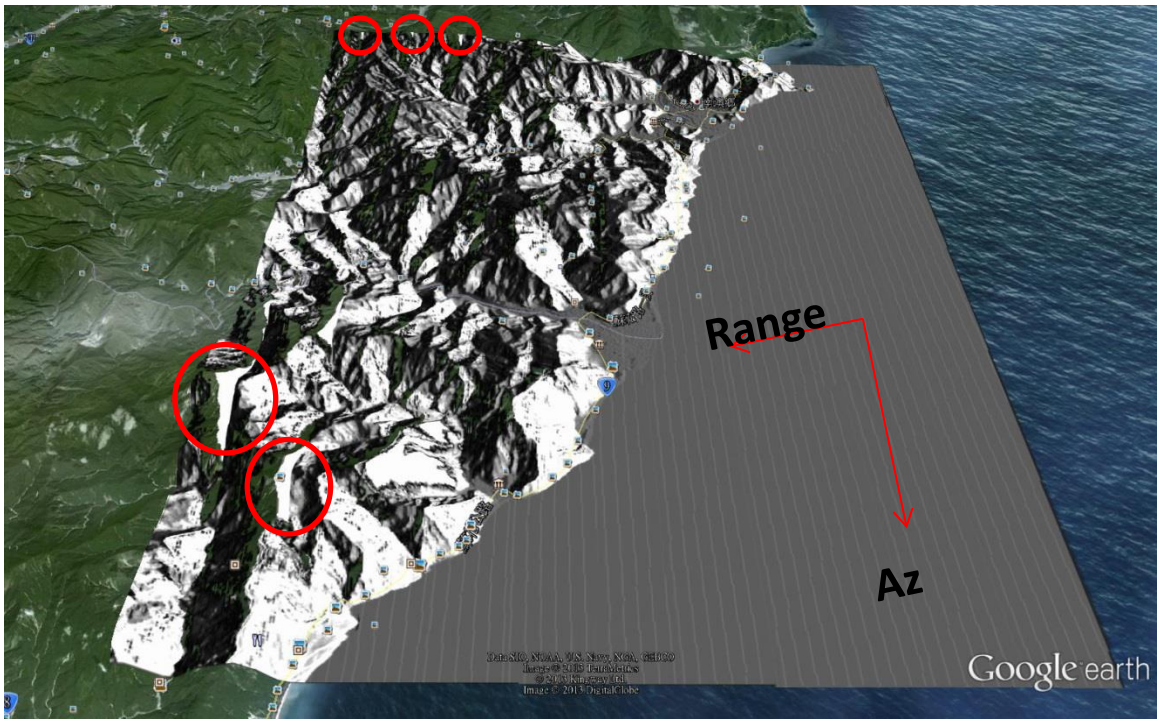


圖 6-14、蘇花公路北向南飛行測區模擬成像鑲嵌圖

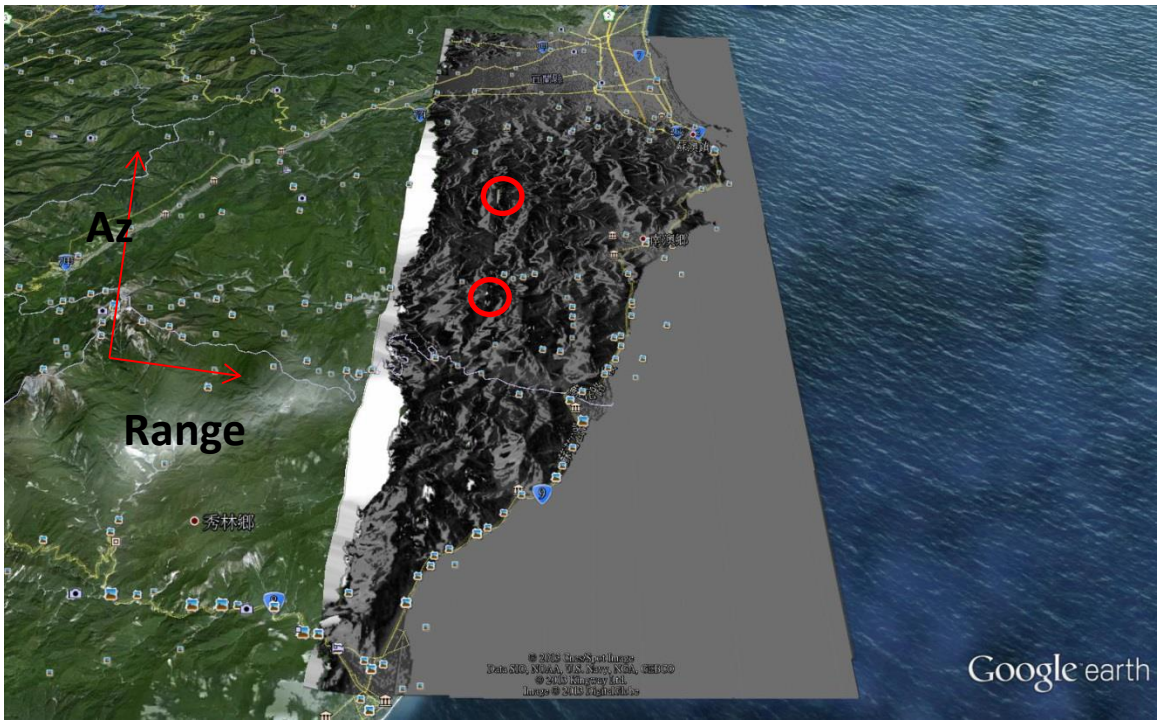


圖 6-15、蘇花公路南向北飛行測區模擬成像鑲嵌圖

由上述成果可知，相較於光學影像，合成孔徑雷達影像成像受地形起伏影響甚鉅，因此當雷達脈衝側視觀測角度小於目標物坡度時，此時坡頂與天線之距離比坡底與天線之距離為短，因此坡頂的回波訊號比坡底的回波訊號先達到雷達天線，形成坡頂與波谷成像顛倒，造成疊置現象。在控制點選取與影像判釋時，較易造成錯誤。再者，當坡度大於側視觀測角度時，會使得坡頂與天線所形成之陰影區，無法接收、反射雷達訊號，造成影像上無任何回波訊息之區域，此區域稱為陰影。故角反射器（Corner Reflector）佈建的規劃，應避免選定於疊置或陰影等區域，以確保角反射器在雷達圖像中能被準確地辨識識別出來，達成提供精確位置目的。

以北向南飛行航線模擬成果而言，可知陡峭的山區易產生疊置區域，而因拍攝航高與航線關係，較少產生陰影區域，如圖 6-16 所示。而南向北飛行航線模擬成果則呈現相反的趨勢，如圖 6-17 所示。

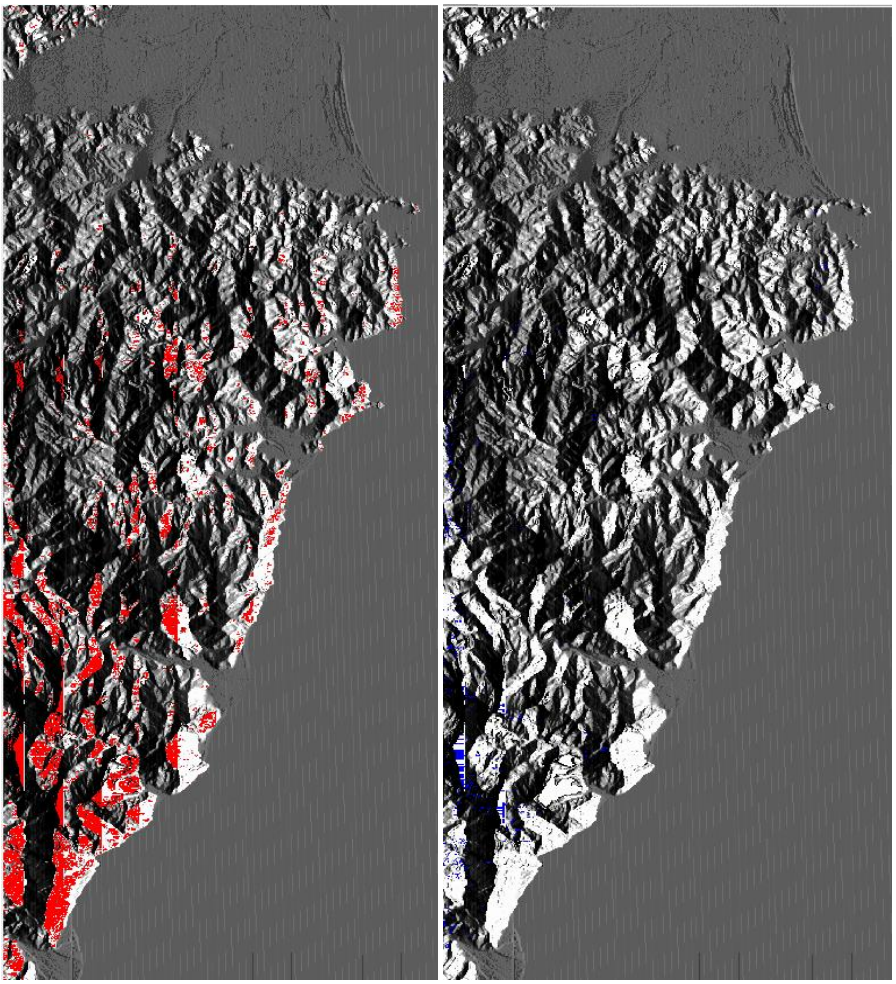


圖 6-16、蘇花公路北向南飛行航線模擬疊置與陰影分析成果圖。左圖紅色區域為疊置區域；右圖藍色區域為陰影區域

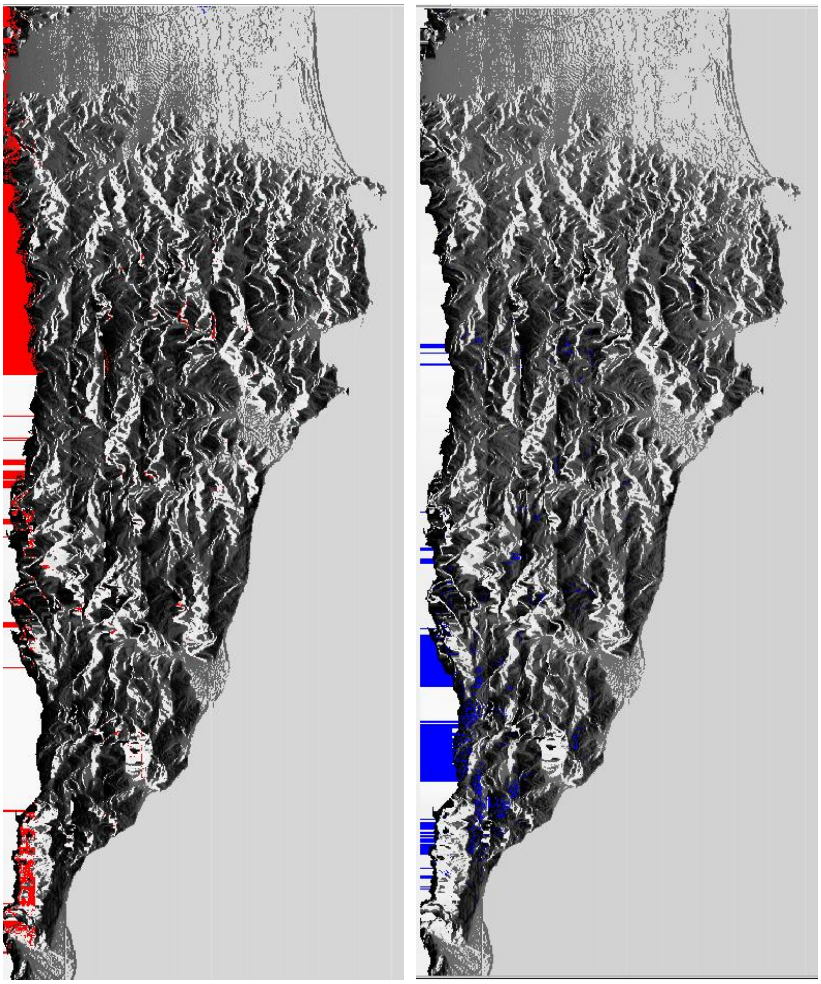


圖 6-17、蘇花公路南向北飛行航線模擬疊置與陰影分析成果圖。左圖紅色區域為疊置區域；右圖藍色區域為陰影區域

最後，透過北向南及南向北的疊置及陰影區域套合，得到 LSM（Layover and Shadow Map）疊置及陰影區域，如圖 6-18 所示；而非疊置及陰影區域如圖 6-19 所示。

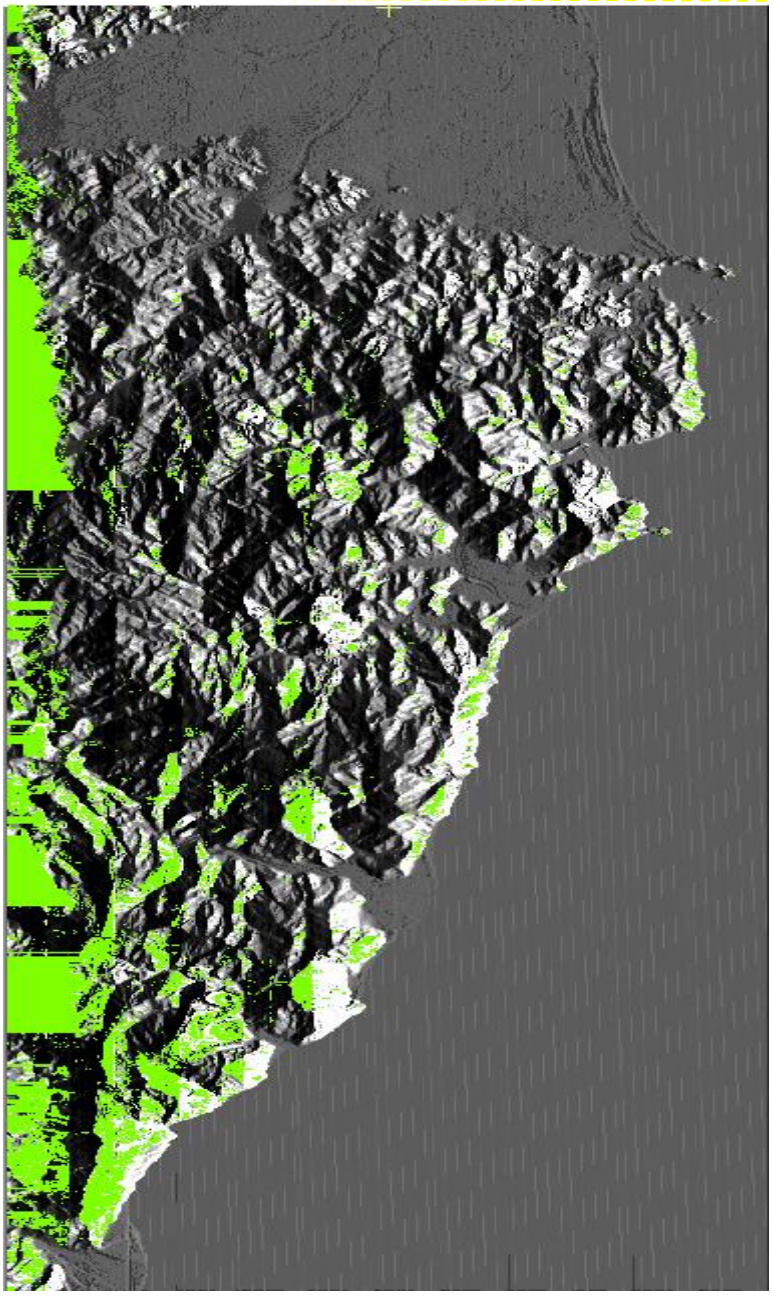


圖 6-18、蘇花公路北向南（或南向北）飛行航線模擬疊置與陰影區域圖

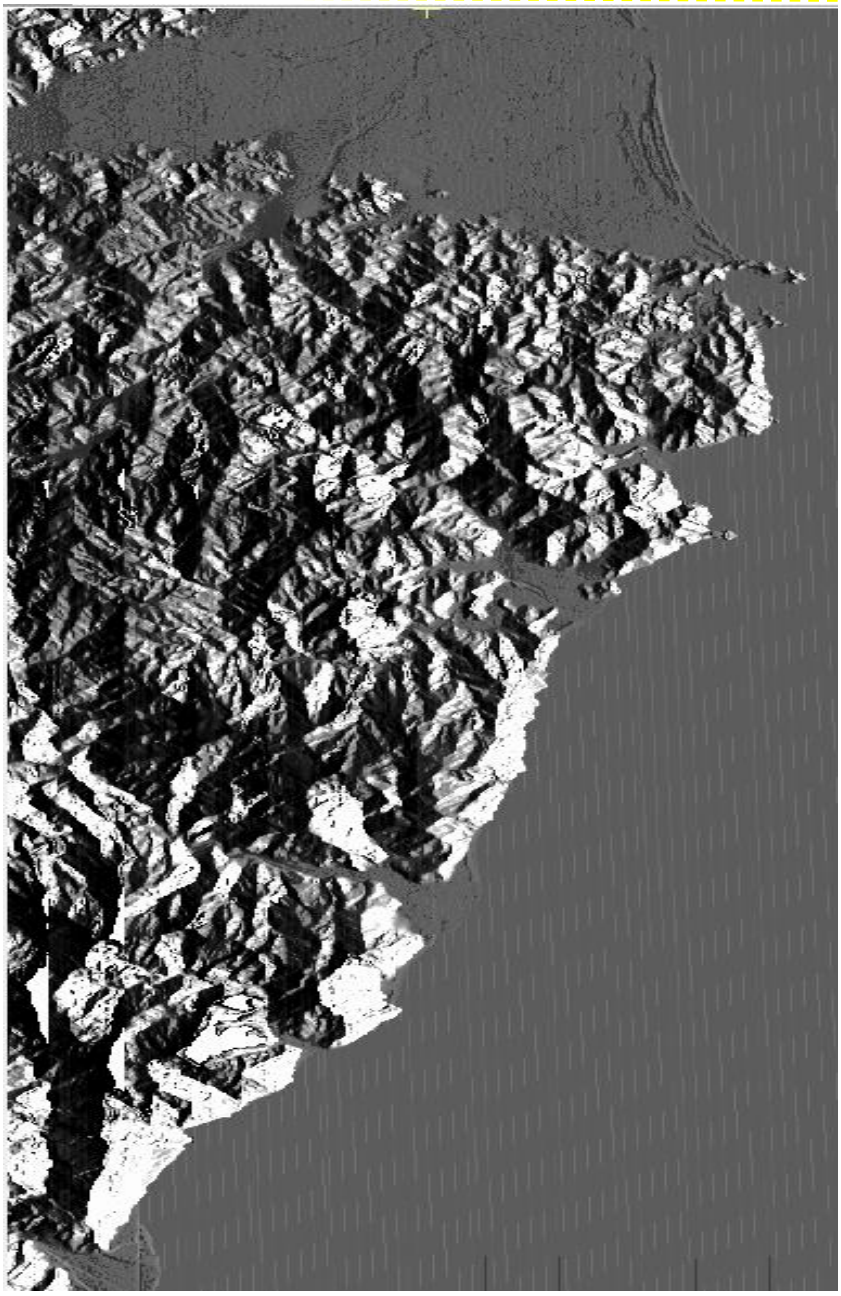


圖 6-19、蘇花公路北向南（或南向北）飛行航線模擬非疊置與非陰影區域圖

若需改善疊置陰影以及區域性無資料的現象，可以考慮變更航高或變更拍攝角度，圖 6-20 為觀測角度 35 度時，不同航高模擬的疊置陰影以及區域性無資料現象，其中紫色箭頭為飛機飛行方位方向（Azimuth Direction），而藍色箭頭為雷達觀測斜距方向（Range Direction），由成果可知，航高的提升可以減低近距離區域性無資料（紅色區域）以及陰影的現象，但若要靠航高完全避免相關影響，高度必須提升相當高。圖 6-21 與圖 6-22 說明了變更觀測角度所造成的影響，

由合成孔徑雷達觀測幾何可知，觀測角度大時，近距的區域性無資料以及高程疊置的效應，會因為觀測角度大產生的斜距差量大而降低，但陰影部分，卻會因為觀測角度大無法看到山區的另一側，這也造成了圖 6-21 與圖 6-22 在不同飛行方向觀測時遮蔽率各有勝出的情況。不過若同時提高飛航高度與觀測角度，可藉由高度彌補部分高觀測角度的陰影效應，故可以提高觀測效率。惟林務局農林航空測量所現有飛機機齡超過 20 年，長期以來的工作航高亦均未超過 20,000 呎，且內外空間均不足以架設高觀測角度的天線，建議未來需更換飛機時，須優先考量可飛航高度與大觀測角度天線架設問題。

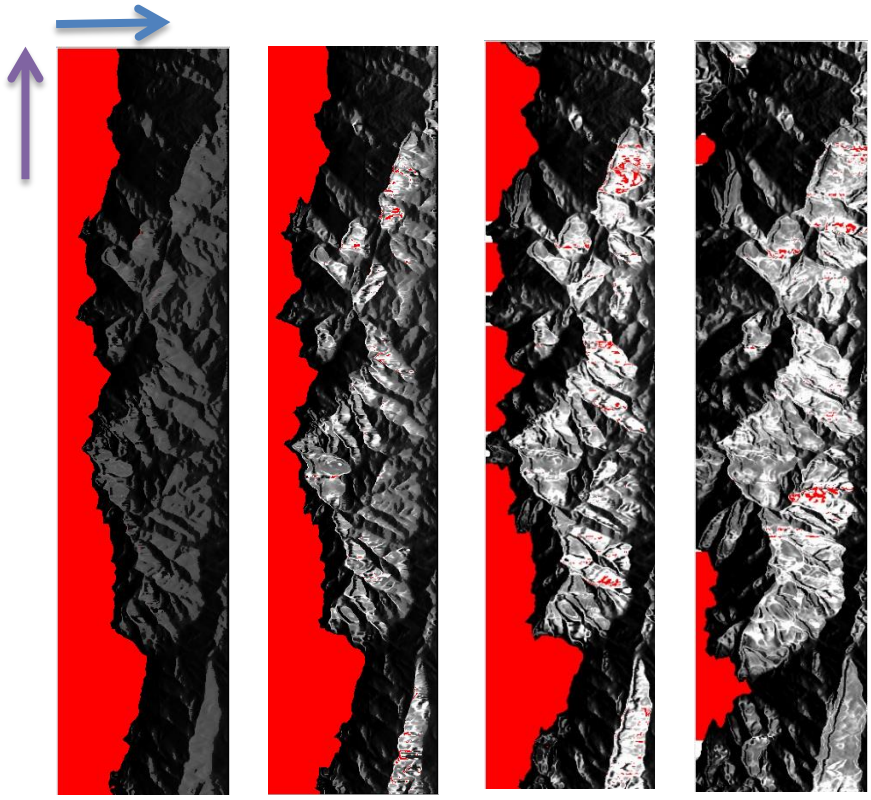
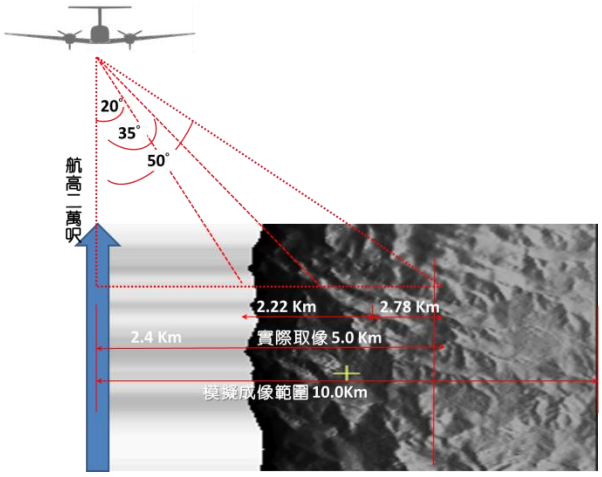
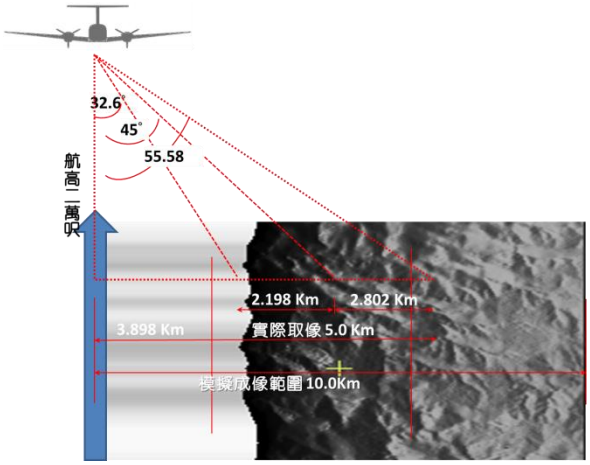


圖 6-20、中央山脈地區各航高雷達影像信號疊置與遮蔽模擬成果，紅色地區為雷達區域性無資料區。左 1 圖為 20,000 呎航高，左 2 圖為 30,000 呎航高，左 3 圖為 50,000 呎航高，右圖為 100,000 呎航高。



航向	遮蔽區(點)	成像範圍(點)	受遮蔽率 %
東	9,424	125x250= 31,250 (5x10公里)	30.15
南	4,726		15.12
西	7,341		23.49
北	9,424		30.15

圖 6-21、模擬中央山脈地區航高 20,000 呎、觀測角度 35 度時雷達於不同航向觀測影像受遮蔽的情形



航向	遮蔽區(點)	成像範圍(點)	受遮蔽率 %
東	9,699	125x250= 31,250 (5x10公里)	31.03
南	9,577		30.64
西	8,600		27.52
北	6,623		21.19

圖 6-22、模擬中央山脈地區航高 20,000 呎、觀測角度 45 度時雷達於不同航向觀測影像受遮蔽的情形

(五)軟硬體設備擴建需求

承上所述，本計畫另建議建置較現行 ATIS 系統架構較簡單直接的緊急災害應變 ATIS EMIS 系統，在同樣的硬體性能下，透過降低 ATIS 系統倉儲管理性能的處理架構，提高資料產製管理與上架的速度，加速資料分送。獨立的 ATIS EMIS 系統將資料處理與發布整合在同一 ATIS 管理層面中，如此將有效控制各等級產品產出時間，大幅縮短資料上架發布時程。在資料處理硬體設備部分，目前已知林務局農林航空測量所將建置兩套合成孔徑雷達成像處理器，若同時作業，每 100 平方公里處理速度約為 45 分(單偏極)至 3 小時(全偏極)，若以全台約 36,000

平方公里估計，全台影像成像時間約可在 12 工作天(單偏極)至 45 工作天(全偏極) 之間。此處理速度足可滿足全年兩次的正規取像作業，但在緊急應變階段，以飛行取像 500 平方公里計，則現有設備預計將多花 5 倍時間完成所有影像成像處理，若僅需進行單偏極正射或判釋，則後續影像處理人員也必須增加至 3 人，以避免影像資料塞車情況出現。若增購成像處理器雖可等比例降低成像時間，但是也必須考量擴大後續影像處理人員編制。表 6-5 為合成孔徑雷達成像處理器規格建議，在軟體部分，為配合 ATIS EMIS 的緊急應變管理機制，合成孔徑雷達成像與各階段影像處理及判釋軟體最好能具備與管理介面界接的功能，以期能透過 ATIS EMIS 系統執行虛擬應變中心的工作。

表 6-5、合成孔徑雷達成像處理器軟硬體規格與需求功能軟體建議

處理器 CPU	兩顆，Xeon 2.9GHz，6 核心以上
記憶體	64GB ECC 以上
硬碟	總容量 3TB 以上
網路通訊介面	四埠 1000BASE-T 以上
硬碟控制介面	具備硬體 Raid 介面卡，支援 Raid 0, 1, 5 與 10
作業系統	Rad Hat Linux v5.6 64bit
相關軟體	合成孔徑雷達成像軟體 -SIFS-A (SAR Image Focusing System) 訊號模擬軟體 -SES-A (SAR Echo Simulation) 影像上架軟體 -OIMSAR (OIMS with SAR module) 影像判釋軟體 -FIS (Feature Identification System) 虛擬應變中心介接軟體 -OPMS (Peering Management)
建議廠牌型號	Dell T620

三、合成孔徑雷達影像特徵判釋

(一)特徵判釋相關文獻

雷達影像特徵判釋可分為下述幾個相關領域。

1、雜訊濾波

2009 年學者 Lee 及 Pottier 於出版的全偏極雷達影像書中提及，由於雷達波同調的干涉現象所引起的斑駁雜訊常使得合成孔徑雷達影像在後續應用上受到相當之限制，故須有效地對斑駁雜訊加以濾除或降低，以提昇合成孔徑雷達影像之變異判釋能力並維持其解析力。雜訊濾波在影像處理上已被廣泛應用，但多數的濾除演算法皆針對光學影像處理，例如：Mean、Median、Low-pass、FFT 及 Wavelet filter 等，但這些方法對於雷達影像的斑駁現象並不適用，相關學者（Lee and Jurkevich, 1994 及王志添等人，2005）所提出的研究，也說明影像斑駁雜訊於雷達回波訊號上是呈現隨機函數型式，必須由統計建立影像與斑駁間的關係，在單觀點與多觀點的影像中雜訊的統計特性也會不同的，因此利用統計方法進行雜訊濾波的 MMSE filter（Lee, 1980），Refined Lee filter（Lee, 1981），改進式 Sigma filter（Lee *et al.,* 2009）等演算法均是現今合成孔徑雷達影像處裡工作較常被利用的濾波模型。

2、影像匹配

在進行不同時期合成孔徑雷達影像特徵變異判釋前，最重要的是影像間的匹配正確（Barbara and Jan, 2003）。正射化當然是影像匹配的一種方法，不過產出正射化合成孔徑雷達影像需要花費較多時間。除正射化外，目前利用合成孔徑雷達影像自身的影像特徵進行自動匹配是常用的方法，1999 年學者 Chalermwat 的研究中提出使用多尺度方式進行合成孔徑雷達影像的自動匹配，此外國內外相關的研究文獻中也說明透過特徵萃取得方法會提高合成孔徑雷達影像自動匹配的精確度（Dare and Dowman, 2001 及王瑋鈴等

人, 2008)。不過合成孔徑雷達影像要能自動匹配，受限於背向散射係數會隨觀測幾何條件不同而改變，因此其觀測幾何條件必須一致才能有正確成果，否則還是只能透過正射化程序達成匹配目標。

3、特徵判釋

依據學者 Moore 等人於 1986 年出版的微波遙測專書中提到，由於雷達信號本身的斑駁雜訊特性，單一波段單一極化微波遙測資料的特徵判釋必須依靠欲判釋的特徵在該波段觀測幾何下是否有足夠大的背向散射係數差異決定，通常可用於水體與強散射點的變異判釋上。1990 年學者 Ulaby 及 Elachi 在偏極雷達的專書中提到，由於合成孔徑雷達系統為主動式系統，不同地物結構特性的影響以及不同的電磁波極化方向均會導致地物對雷達回波強度不同，進而影響其散射特性，因此單一波段雷達系統影像資料於地物特徵判釋，可利用目標物對不同極化方向（HH、HV、VH 及 VV）的散射特徵差異（Lee and Pottier, 2009），將這些不同極化的散射特徵對應到相對應顏色中，即可得到具備地物特徵資訊的假色影像。如採用包利矩陣基底（|HH-VV|、|HV+VH|、|HH+VV|）顯示，更可瞭解影像中地物的結構特徵，達到地物分類判釋目的(Keydel, 2005)。為求更進一步連結地物與全偏極雷達散射信號間的關係，不同模式的目標物分類法被提出。如 1996 年學者 Cloude 與 Pottier 的特徵值分類法，1998 年 Freemen 與 Durden 的三元素目標物分類法，2008 年 Yamaguchi 等人的四成分目標物分類法等，這些方法也相當成功的應用於許多災害或地表特徵判釋上（Yajima *et al.,* 2008 及 Hajnsek and Pottier, 2000）。由於全偏極合成孔徑雷達影像成像時間與解析力較單或雙偏極影像為弱。2010 年學者 Kao 等人於發表的文章指出，由於 HV 偏極主要顯示體散射特徵，而植生地區多屬於此類散射特性，因此可使用 HV 偏極呈現植生特性，並考慮地形效應，利用雷達影像雙偏極特性計算出 HV/HH 比例值；研究顯示，非植生地區 HV/HH 比例值較低，依雷達植生指數門檻值決定；應用於多偏極資訊於植生監測，多使用 HV 偏極與 HH 偏

極之比值，即雷達植生指數（Radar Vegetation Index, RVI），此方法雖然無法提供最精準的地物資訊，但在緊急事件處理時可以快速找出變異特徵範圍。

(二)判釋方法

合成孔徑雷達影像判釋方法依照雷達本身的特性以及欲觀測地物變異的類型可以粗分為三種類型：

1、前後期合成孔徑雷達影像變異判釋

若要進行同地區不同時間點的合成孔徑雷達影像變異判釋，最基本要求便是拍攝角度與方位的一致性，由於合成孔徑雷達系統屬於主動式的雷達成像，相同的地物在不同角度與方位的均有不同的雷達散射反應，也直接地影響了所獲得的地物特徵。倘若取得兩幅不同角度與方位的合成孔徑雷達影像，就算作完正射糾正進行套疊，其呈現的也會是不同的角度與方位條件下的地物特徵，如圖 6-23 所示，除非透過合成孔徑雷達影像分類技術進行地物分類，不然將無法直接進行變異判釋。

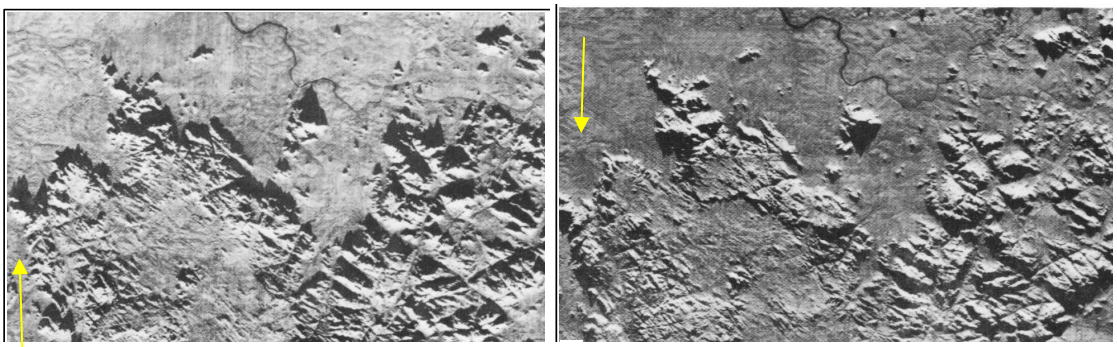


圖 6-23、不同觀測方位角度合成孔徑雷達影像將呈現不同結果。左圖為合成孔徑雷達影像，雷達觀測方向如圖中左下角箭頭指示為往上方觀測；右圖為合成孔徑雷達影像，雷達觀測方向如圖中左上角箭頭指示為往下方觀測

前後期影像變異判釋又可分為，振幅直接相減法以及差分干涉法。振幅直接相減法顧名思義就是利用兩個時期做完正射化的合成孔徑雷達振幅影像產品進行相減找出變異地點，此法處理速度最快；如前節所述，合成孔徑雷達影像本身具有斑駁雜訊的特徵，若要進行直接相減變異比對，所有影像均必須經過濾波處理以降低斑駁雜訊的誤差；次外，直接相減法由於僅利用振幅影像相減，得到的變異地點，除非是已知信號差異很大的已知地區與現象（如行水區的水體與堤防），不然並無法得知變異究竟是甚麼地物；因此對於河川溢堤氾濫與沿海淹溢等與水體有關的現象，利用此方法可快速準確得到判釋成果。另一類，前後期合成孔徑雷達影像變異判釋為合成孔徑雷達差分干涉處理技術（DInSAR），如圖 6-24 所示。差分干涉處理技術為透過兩次在同地區的合成孔徑雷達取像 *S*1 與 *S*2，在取像時的飛行載具方向與雷達入射角度固定，但兩次飛行軌跡維持一定的距離差（又稱基線）B 下，此一定的基線透過干涉處理就會讓兩個飛行軌跡所收到的雷達影像具備固定的雷達相位差 *dj*，此相位差扣除掉已知的地形高度相對應的相位後，多餘出來的就是地表的變動量，如圖 6-25 所示。

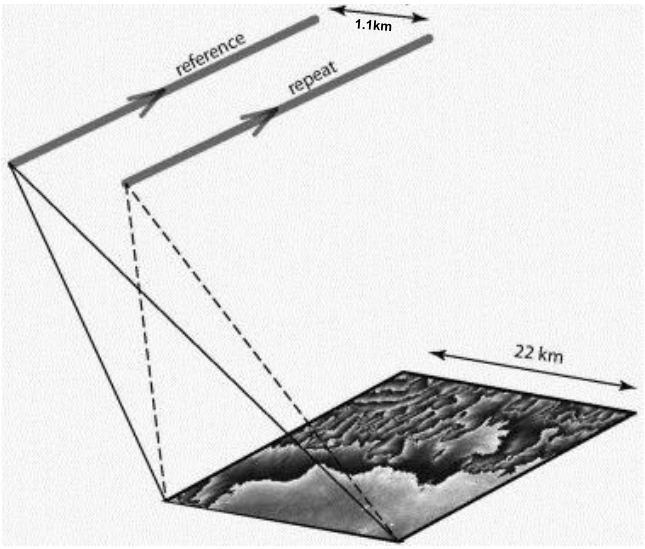


圖 6-24、合成孔徑雷達干涉技術二軌跡法飛行取像示意圖

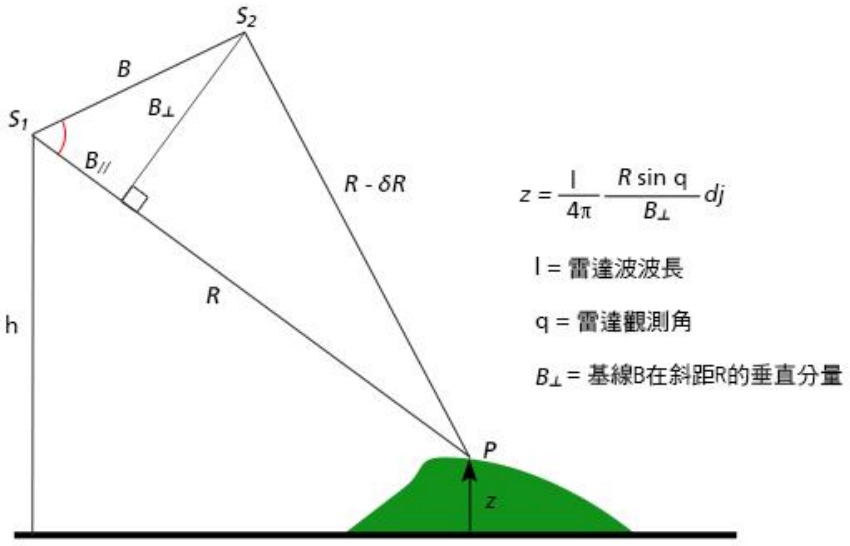


圖 6-25、差分干涉雷達技術幾何示意圖

一般來說，合成孔徑雷達系統差分干涉能偵測的變動量以 1/4 波長當門檻值（Graham, 1974），依使用頻率可以從數公分到數公厘。進行差分干涉成像處理，由於相位精度的的要求較高，地物的時間相關性、飛行器的穩定性、大氣的干擾、幾何校正優劣、影像匹配品質及數值地形圖的精度都會影響最終的變異量解算；因此，在進行差分干涉取像作業時，前後期的飛行幾何條件與天候條件須盡量一致，與觀測地物時間的相關性也必須注意，如果是建物地區則可以允許較長的觀測周期，若是植被地區則是在相當短的時間內就會喪失相關性。此法常用於地震與地層下陷災害判釋。

2、合成孔徑雷達影像分類變異判釋

根據合成孔徑雷達影像特徵判釋所述，使用雙偏極或全偏極模式取像可以依地物散射特徵進行分類，雙偏極影像可以產出與光學系統植被指數相當的雷達植被指數（Radar Vegetation Index, RVI）（水保局，2008）。雷達植被指數的定義，主要應用 HV 偏極對於體散射特性反應較為敏感，而植被對於電磁波傳遞而言多屬於體散射特性；HH 偏極對於二次散射特性較敏感，如建築物、船隻或橋樑等，因此 HV 偏極較適合用於植被觀測，HH 偏極較適

合用於聚落偵測，故選用之；後續根據前後期影像 HH 與 HV 偏極的振幅及 HH 與 HV 偏極的偏極比差異給定門檻值，此門檻值主要以訓練樣區訓練後所得之值，以做為變異偵測初估用，其中 HV 與 HH 偏極的偏極比值，即為雷達植被指數。雷達植被指數的目的為祛除山區因坡度與植被造成雷達相對入射角的改變而使雷達影像輻射值改變的效應，應用於傳統點與點關係獨立的像元式變異偵測中亦可得較佳的偵測成果。全偏極影像更可以利用目標物分解方法產出與多光譜影像類似的全彩影像並可分類出高中低三種亂度的多重散射（三類植物）、高中低三種亂度的二次散射（三類建物）以及中低兩種亂度的地表散射（水體及裸土）等八種類別，如圖 6-26 所示（Lee and Pottier, 2009）。

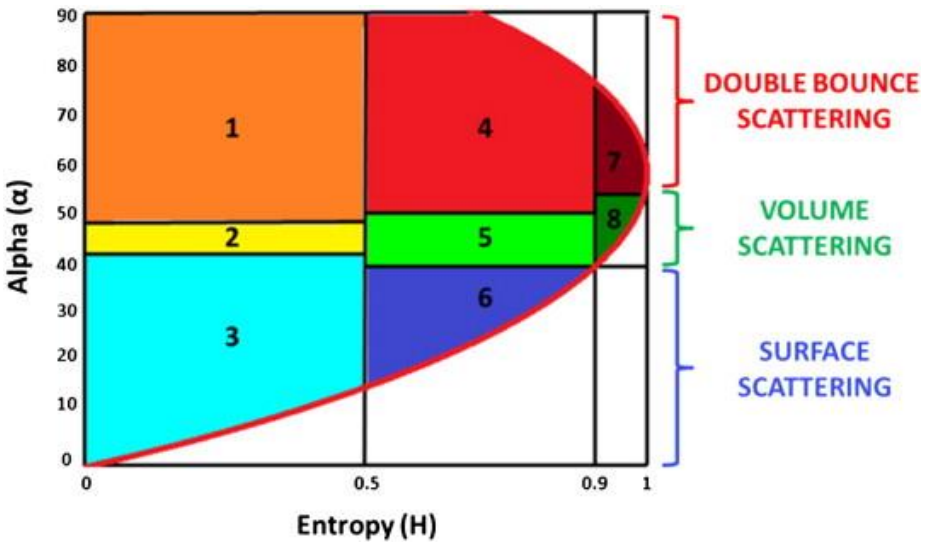


圖 6-26、全偏極影像散射亂度空間分布圖

由圖 6-26 中可看出，全偏極影像在散射與亂度空間上的分布，垂直軸中 Alpha 數值越高，則影像散射越少，反射越大，因此多應用於區分建物上；而低 Alpha 值區間，則剛好相反，因此可區分出水體與裸土等散射類別。而水平軸則區分相同反射/散射區間內的亂度值，作為區分何種植被或建物等。由於分類出來的圖資已經是物種，因此就能輕易應用地理資訊系統，進行同地區其他各類型歷史圖資，如土地利用圖、像片基本圖及多光譜影

像等套疊。此類取像對於飛行航線要求較上小節干涉取像為低，比較需要注意的是正射化的精度要能與其他圖資匹配。由於此法僅需單幅合成孔徑雷達觀測影像便可進行判釋，且全偏極又能有效分辨地物類別，因此適用於多種物種同時變異的災害判釋。

3、地形效應判釋

因台灣山區地形起伏大，而雷達系統是一個側視成像系統，在成像過程中，地物目標物的成像順序與時間相關，即電磁波往返目標物所需的時間跟衛星與目標物之間的距離成正比。在地形起伏大的地貌，如陡峭的山峰等，由於山頂與感測器之間的距離較底部近，山頂的回波訊號先於底部回波訊號抵達感測器，如圖 6-27 所示，此現象稱為疊置效應。

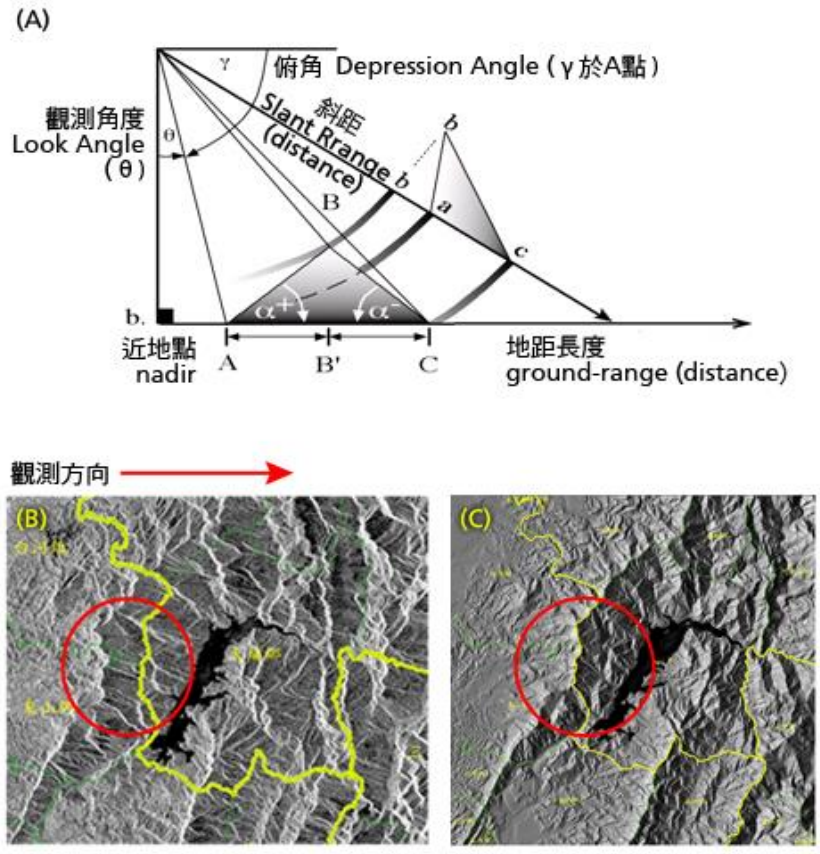


圖 6-27、疊置效應示意圖。上圖（A）為疊置效應幾何示意圖，左下圖（B）山區的稜線是往西邊傾倒，表示山頂的回波訊號先於底部回波訊號抵達天線，右下圖（C）中看出稜線被拉回到原來的位置

在地形起伏大的山區，電磁波訊號往往受到山峰等地物阻擋，如圖 6-28 所示，此現象稱為陰影效應（Shadow）。上述地形效應在影像中分別呈現為強訊號特徵與無資訊回波，對於坡地變異偵測分析容易產生偵測假警報率（False Alarm），故使用數值高程模型（DEM）進行地形效應模擬，提供該區域的非疊置/陰影區圖層，作為後續變異偵測遮罩使用。

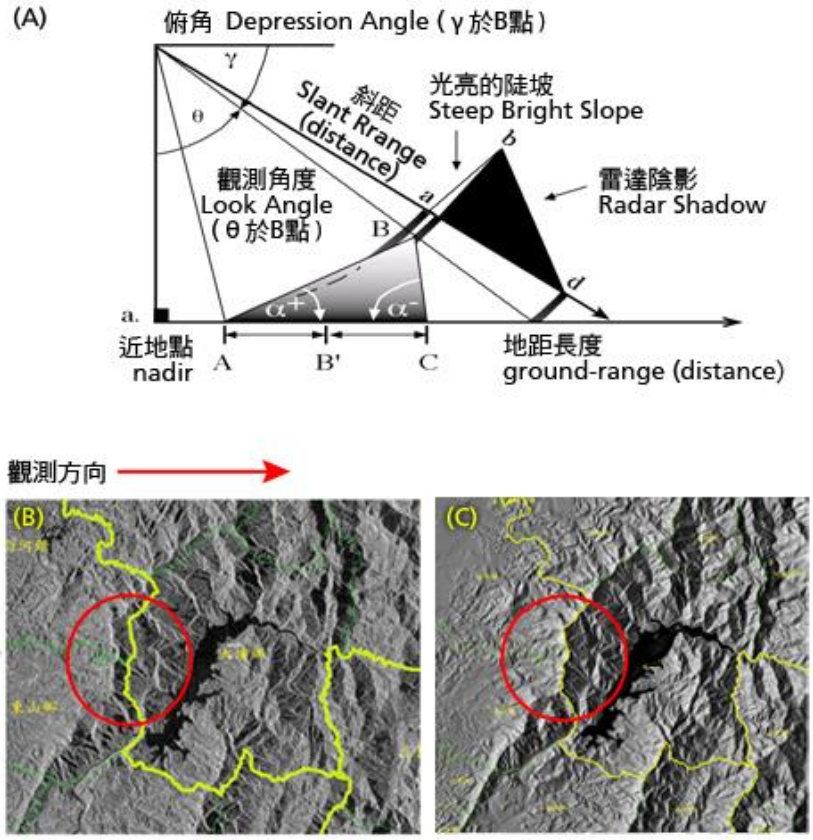


圖 6-28、陰影效應示意圖。上圖（A）為陰影效應幾何示意圖，左下圖（B）山區的稜線後的東邊有明顯的黑色訊號反應，表示此山區的後方資訊完全無回波訊號，右下圖（C）中看出稜線被拉回到原來的位置，並且陰影區域由附近區域的資訊以內插方式補足

(三)示範區域規劃

本計畫示範地區規劃將以近年台灣林地受創較嚴重的屏東林區管理處旗山事業區為測試區，如圖 6-29 所示，旗山事業區所包含的六龜、甲仙及那瑪夏地區都是常年易受崩塌與土石流災害地區，在莫拉克風災期間的大規模崩塌更造成甲仙地區小林村全村覆滅 (林務局農林航空測量所，2010)，因此在合成孔徑雷達影像歷史圖資上也有較多資料可供測試。本計畫先以此地區的星載歷史圖資影像進行變異判釋測試。圖 6-30 為規劃旗山事業區已拍攝的衛星合成孔徑雷達影像範圍。

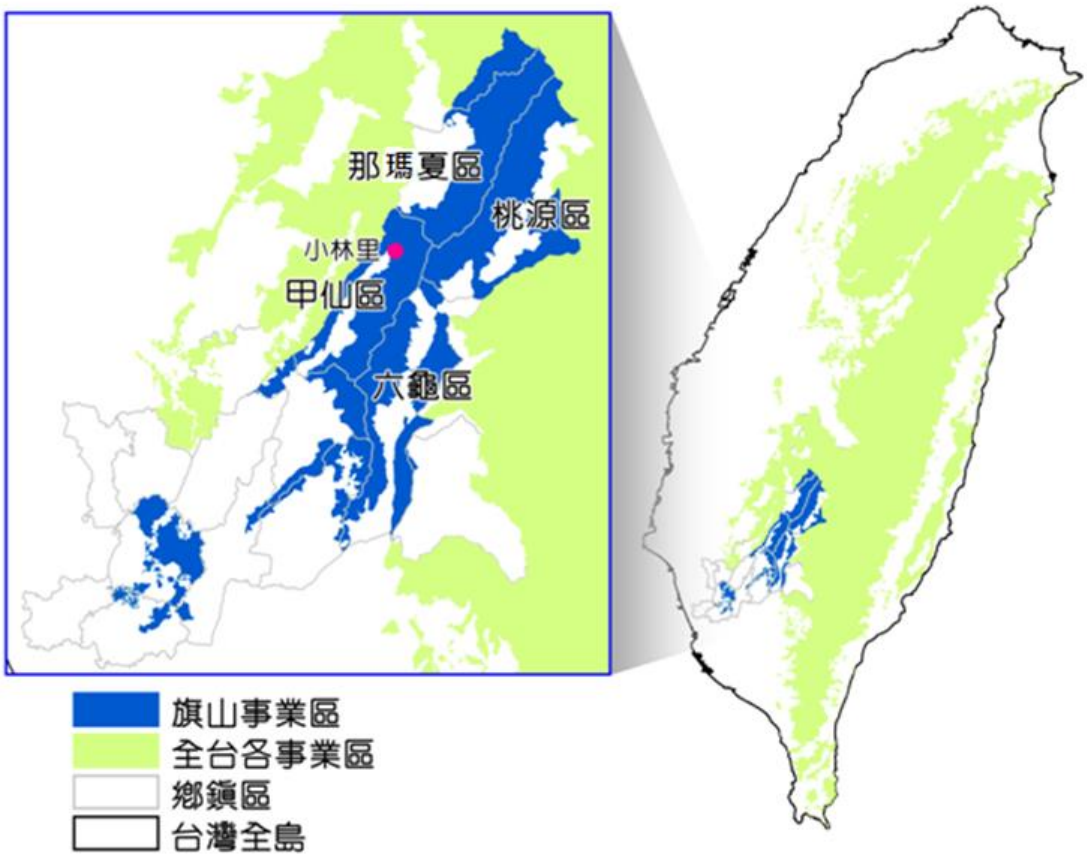


圖 6-29、國有林區範圍圖，藍色區域為旗山事業區

衛星名稱：TerraSAR-X
拍攝模式：StripMap
偏極組態：HH/HV
衛星軌道模式：昇模式
空間解析度：6.6 公尺

圖 6-30、旗山事業區已拍攝的 TerraSAR-X 航帶雙偏極影像範圍

因示範區域選擇受林區範圍限制而集中在山區，往往不易產生淹溢災害事件；本計畫另行規劃屏東林邊沿海地區以及嘉義東石沿海地區，分別進行單偏極以及全偏極合成孔徑雷達淹溢判釋。屏東林邊沿海地區由於過去養殖業興盛導致地層下陷嚴重，常年每逢颱風即飽受海水倒灌之苦，莫拉克風災時更造成附近東港、林邊與佳冬地區大規模長達兩周積水不退，因此相當適合做為淹溢災害判釋的測試區；在合成孔徑雷達影像歷史圖資部分也擁有相當豐富資料可供選擇。圖 6-31 為屏東東港示範地區已拍攝的星載 Cosmo-SkyMed 合成孔徑雷達影像範圍。

衛星名稱：COSMO-SkyMed-2
拍攝模式：StripMap Himage
偏極組態：HH
偉星軌道模式：降模式
空間解析度：5 公尺

圖 6-31、屏東東港地區已拍攝的 Cosmo-SkyMed 航帶單偏極影像範圍。

(四)示範區濾波與影像判釋試作

圖 6-32 為合成孔徑雷達影像裸露崩塌變異判釋標準作業流程，包含斑駁濾波處理、影像區塊分割、地形效應判釋、RVI 判釋，以及最小判釋面積篩選等程序，其中雷達植被指數裸露地門檻值估算為前置作業，目的為估算重複軌道雷達衛星在同一個觀測角下的門檻值，故針對相同地區的衛星雷達影像，門檻值估算僅須估算一次。

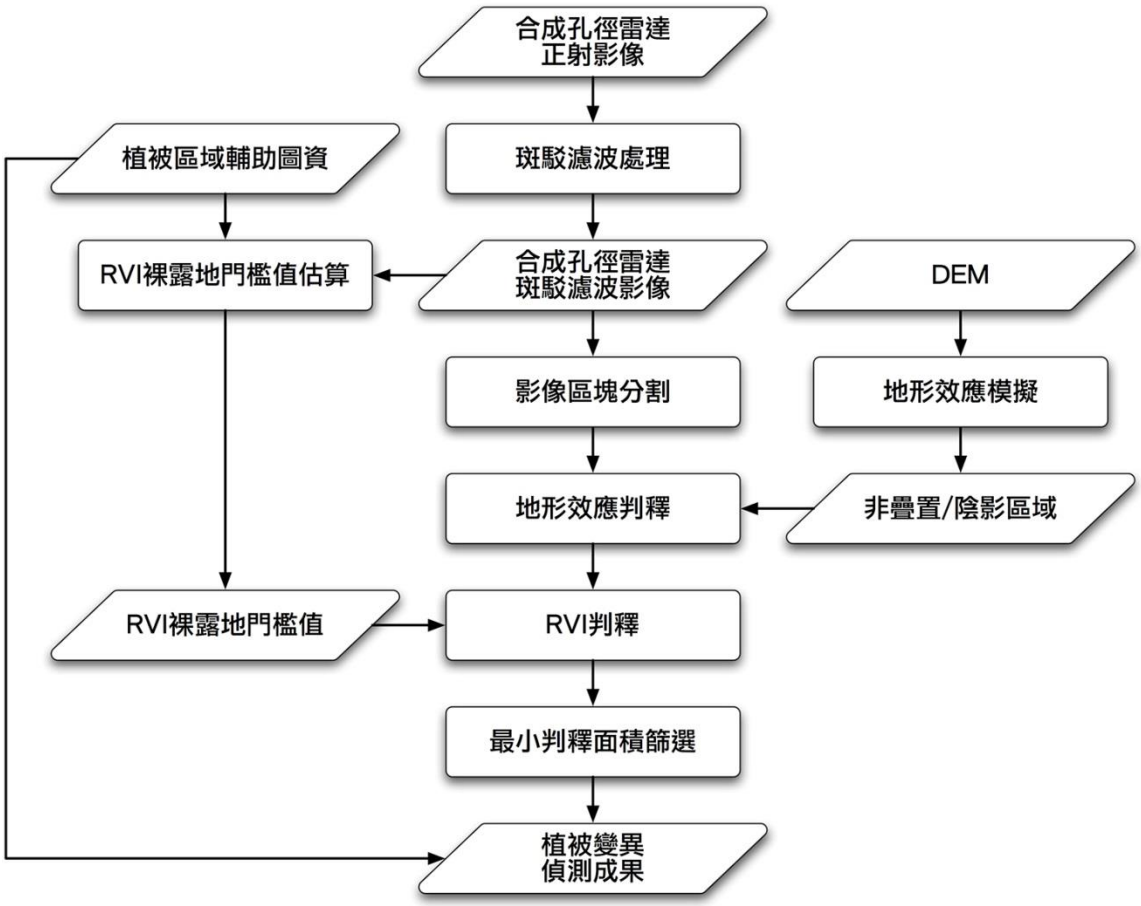


圖 6-32、合成孔徑雷達裸露崩塌變異偵測流程圖

而圖 6-33 為合成孔徑雷達影像溢淹變異判釋標準作業流程，其中斑駁濾波處理、影像區塊分割、地形效應判釋及最小判釋面積篩選等工作，皆與上述裸露崩塌變異偵測流程相同，主要差異在於判釋方法的不同。以下就各工作進行詳盡的說明。

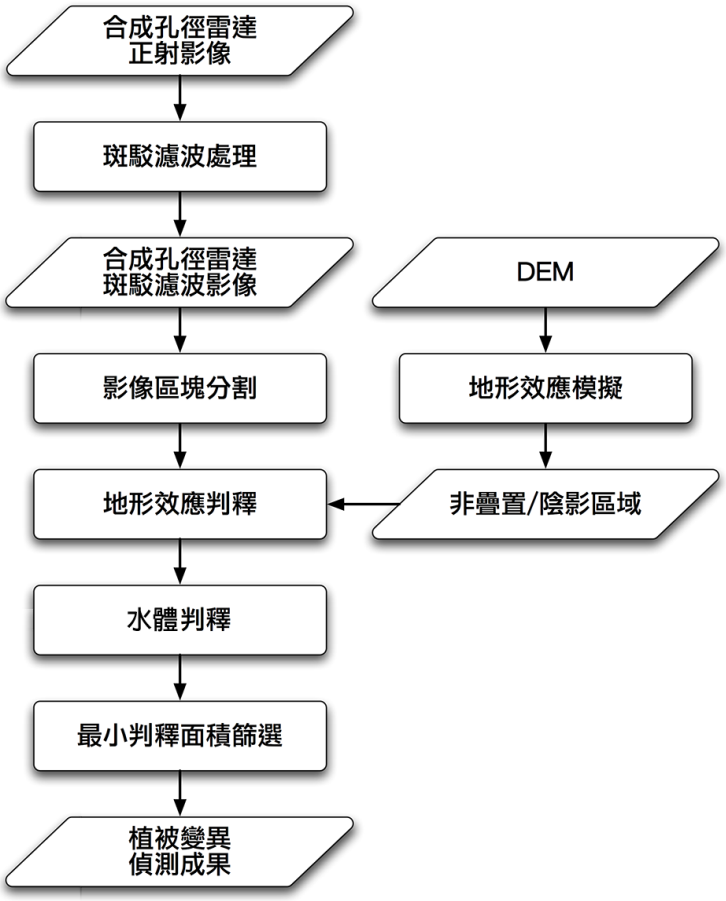


圖 6-33、合成孔徑雷達溢淹變異偵測流程圖

1、斑駁濾波與品質檢核

斑駁雜訊濾波器種類相當多樣，如 MMSE 濾波器（Lee, 1980）、Refined Lee 濾波器（Lee, 1981）以及 Improved Sigma 濾波器（Lee *et al.*, 2009）等。合成孔徑雷達影像進行斑駁濾波處理，最重要目的在於不改變影像上均質目標物的平均值與降低影像斑駁雜訊，兼顧保有影像解析度，可以降低後續變異偵測因為斑駁雜訊所產生的誤判，本節將透過示範區的濾波處理針對幾種不同濾波器的性能作進一步分析。圖 6-34 為 2012 年 07 月 27 日 TerraSAR-X 旗山事業區的雙偏極影像，圖 6-35 至圖 6-37 分別為同一影像經過一般 Boxcar 濾波、Refined Lee 濾波以及 Improved Sigma 濾波處理後的結果，雖然本報告中為全幅縮圖，但由圖中仍可明顯看出不同濾波器對影像有產生程度不一的改變。

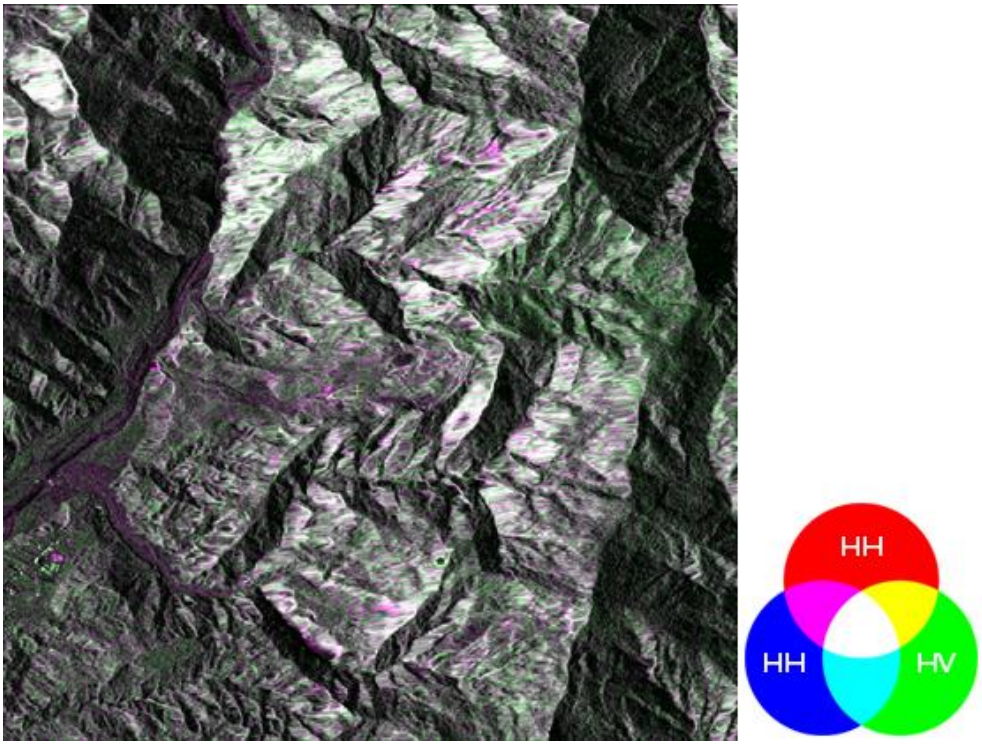


圖 6-34、TerraSAR-X 旗山事業區雙偏極影像

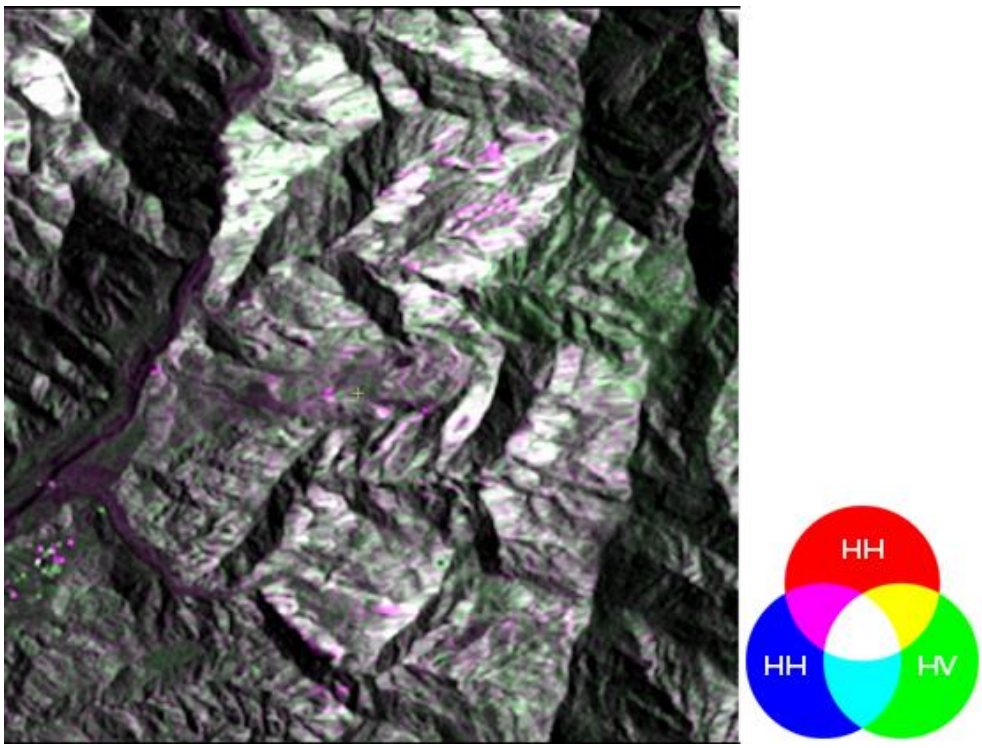


圖 6-35、TerraSAR-X 旗山事業區雙偏極 Boxcar 濾波影像

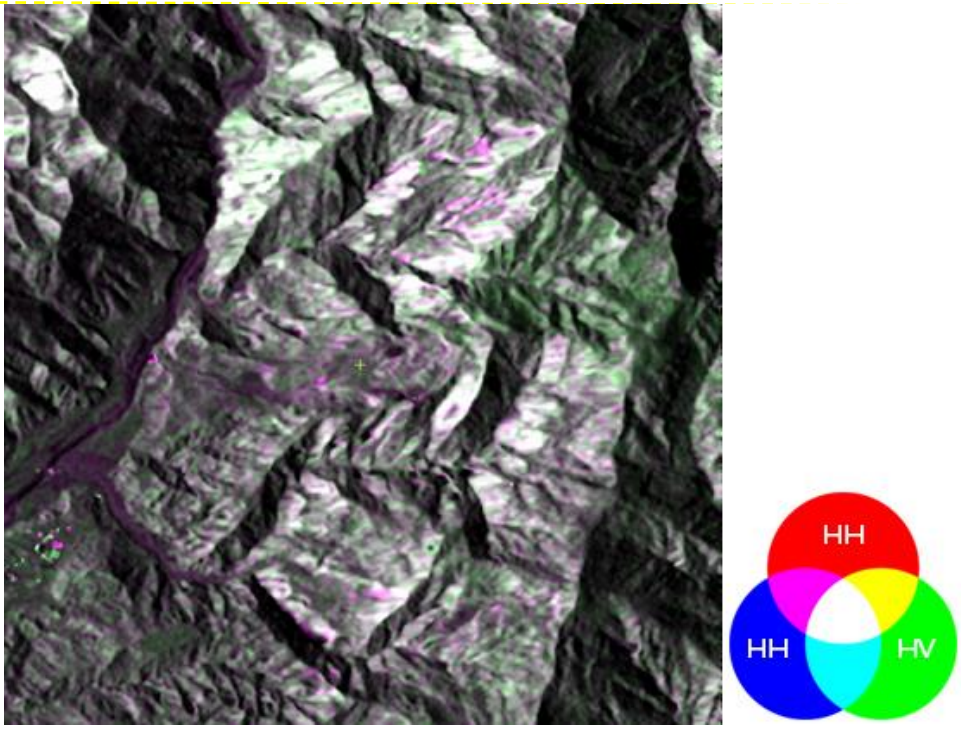


圖 6-36、TerraSAR-X 旗山事業區雙偏極 Refined Lee 濾波影像

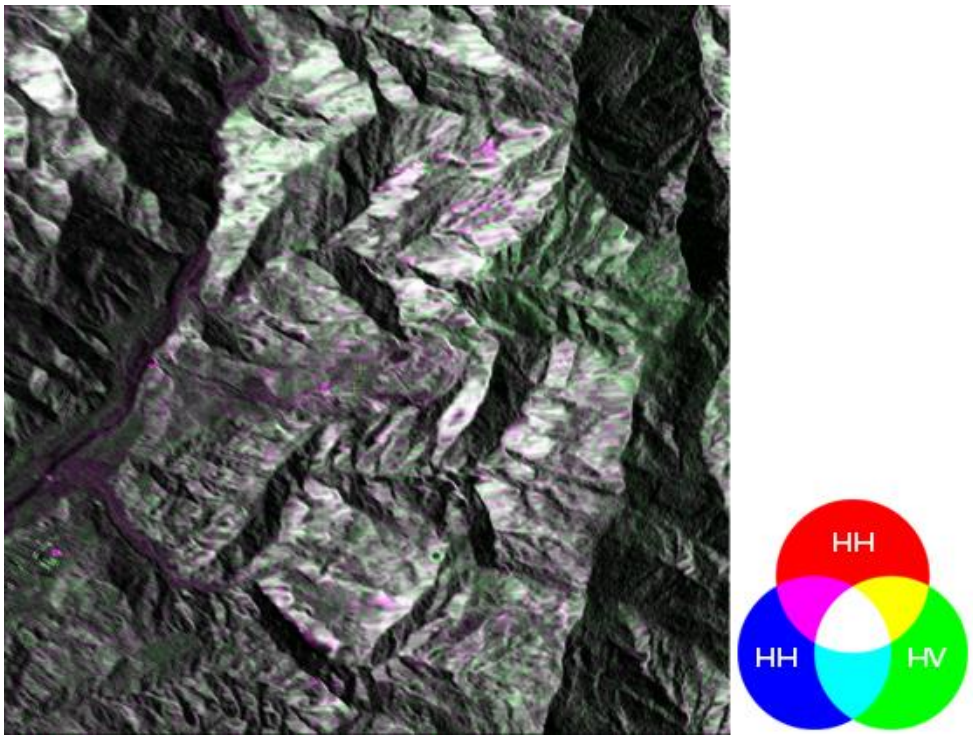


圖 6-37、TerraSAR-X 旗山事業區雙偏極 Improved Sigma 濾波影像

圖 6-38 上可明顯分辨原始影像與濾波處理後的差異，Boxcar 濾波會喪失原本影像解析度資訊，Improved Sigma 濾波保留較佳原始影像解析度，以及邊緣特徵（如：道路），道路部分與建物區域依然清晰可辨識，邊界並沒有因為濾波後而產生模糊；同時均值區域在經過濾波後斑駁雜訊明顯減少。而 Refined Lee 濾波解析度保留程度介於兩者之間，一般而言，若為點目標變異偵測（如：建物），常使用 Improved Sigma 濾波，而均質區域變異偵測（如：水災溢淹），會使用 Refined Lee 濾波。

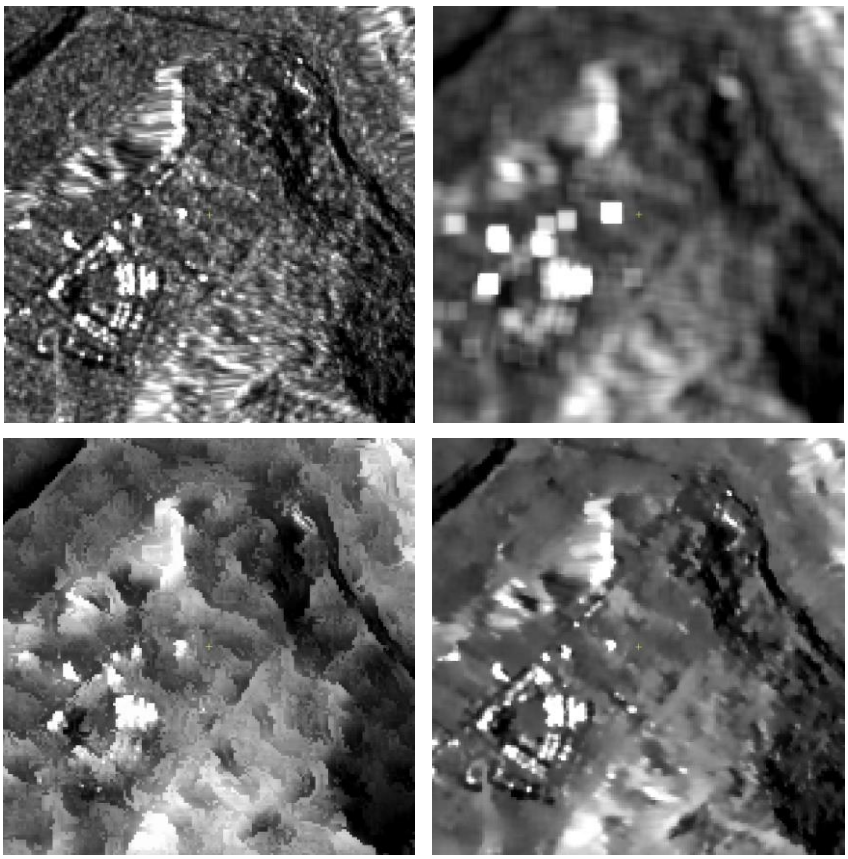


圖 6-38、TerraSAR-X 旗山事業區雙偏極影像各種濾波處理成果。左上角為原始影像；右上角為 Boxcar 濾波成果影像；左下角為 Refined Lee 濾波成果影像；Improved Sigma 濾波成果影像

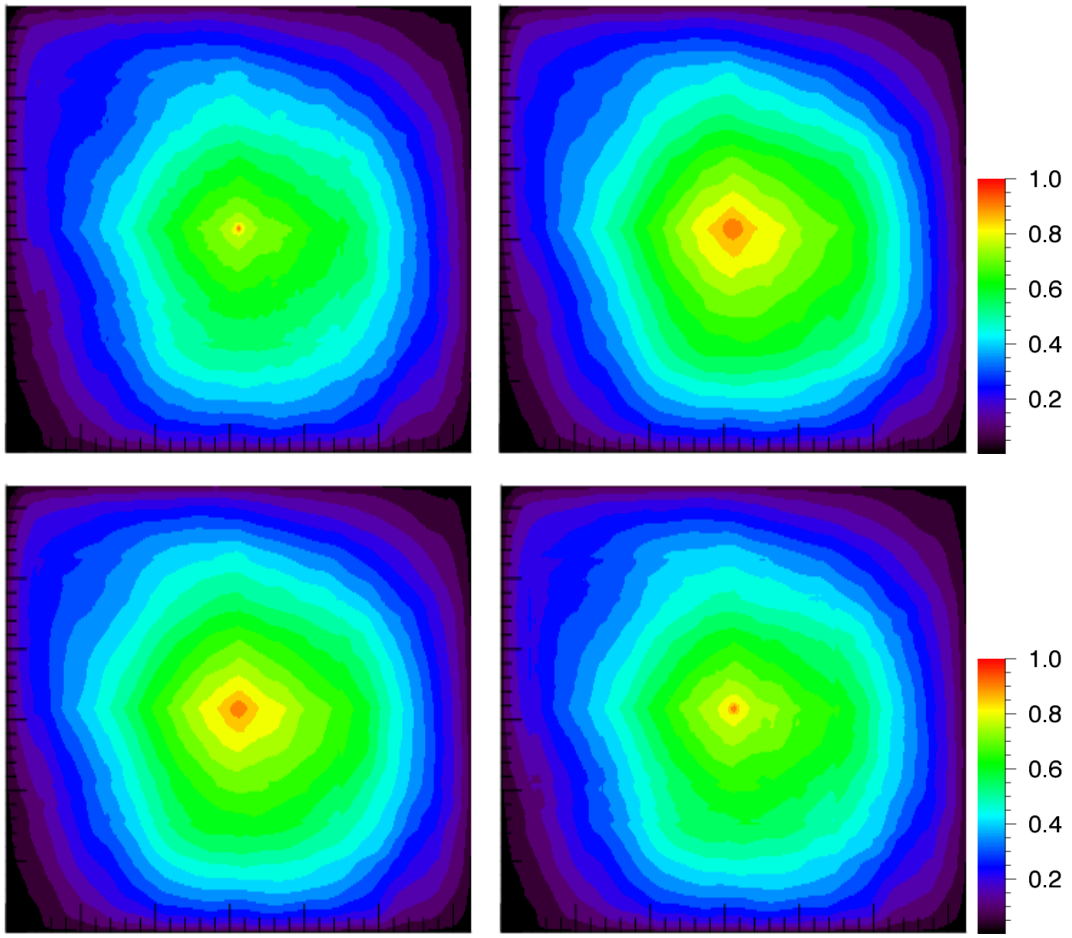


圖 6-39、合成孔徑雷達濾波影像自相關分析成果。左上角為原始影像；右上角為 Boxcar 濾波成果影像;左下角為 Refined Lee 濾波成果影像;Improved Sigma 濾波成果影像

圖 6-39 為上述影像分別進行自相關分析(Auto-correlation analysis)的結果，值域範圍皆為 0 至 1 (紅色為 1，黑色為 0)，分析目的為濾波影像保留特徵程度，當峰值區域 (接近 1) 的形狀與原始影像越接近，代表特徵保留程度越高;而圖 Boxcar 及 Refined Lee 濾波的峰值區域形狀與原始影像差異大，其中 Boxcar Filter 結果差異最大，代表與濾波後的影像特徵保留程度最差。

依據上述分析結果可以顯示 Improved Sigma 濾波器有最佳的抑制性。同樣的方法利用於由 Cosmo-SkyMed 所拍攝的淹溢示範區單偏極影像，如圖 6-40 所示，評估是否濾波方法亦適用於不同性質的災害判釋，圖 6-41 為將作物區放大比較各式濾波器的差異，與 TerraSAR-X 旗山事業區的結果相當類似，Improved Sigma 濾波器依舊提供較好的邊緣特徵而 Refined Lee 濾波器則提供較均值的區域。

圖 6-40、Cosmo-SkyMed 高屏地區淹溢示範影像（HH 極化）

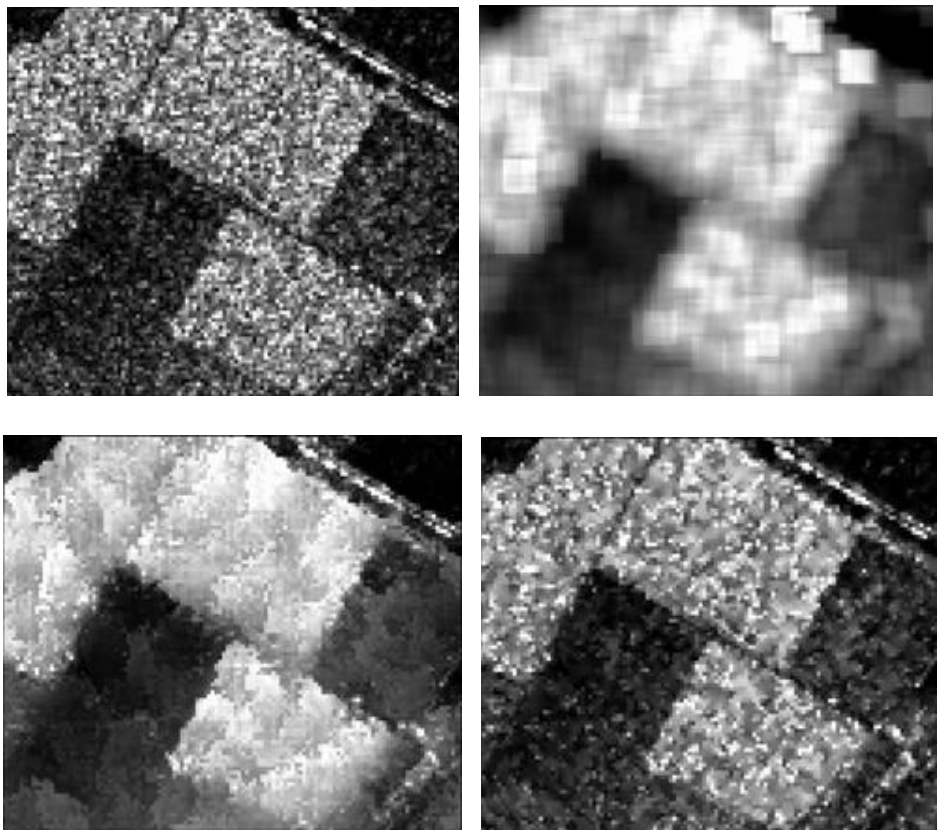


圖 6-41、Cosmo-SkyMed 高屏地區淹溢影像各種濾波處理區域成果。左上角為原始影像；右上角為 Boxcar 濾波成果影像；左下角為 Refined Lee 濾波成果影像；Improved Sigma 濾波成果影像

在自相關分析上，由圖 6-42 也可知這些濾波器特性並沒有因為濾波地物的不同而改變其性能。

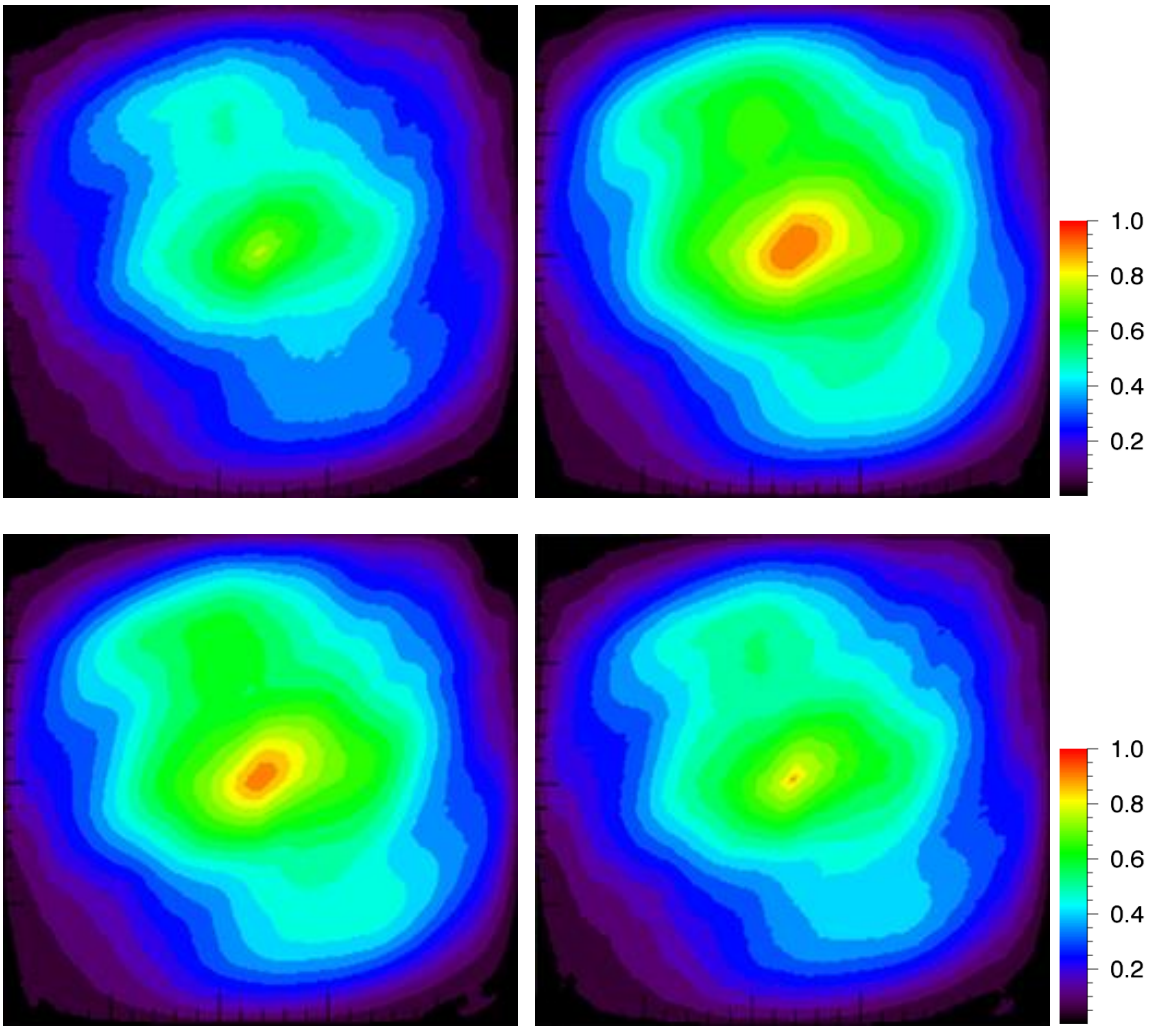


圖 6-42、Cosmo-SkyMed 高屏地區淹溢濾波影像自相關分析成果。左上角為原始影像；右上角為 Boxcar 濾波成果影像；左下角為 Refined Lee 濾波成果影像；Improved Sigma 濾波成果影像

2、影像區塊分割

進行高解析度雷達影像地物特徵偵測或分類時除了使用影像強度特徵之外，更要利用其幾何訊息和結構訊息，也就是影像物件的概念，以物件式（Object-based）的概念進行影像偵測。相較於像元式地物偵測，物件式地物偵測更著重影像空間關係的考慮，可使偵測成果更合理及精確。本計畫以 Trimble 公司 eCognition 物件式分類軟體實際測試可知，採用物件式偵測的結果較為完整，而像元式偵測結果呈現破碎情形（像元之間為獨立關係），同時也摒除掉雷達影像斑駁雜訊可能產生的誤判情形。爰此，採用物件式偵測方法進行變異偵測分析。

3、植被變異判釋及水體判釋

以下將詳細說明植被變異偵測指標分析、斑駁雜訊濾波對於特徵分離度的影響，以及裸露地門檻值估算。

植被變異偵測分析指標包含 HH 偏極、HV 偏極，以及 HV 與 HH 振幅比值共三種，參考莫拉克風災後的獻肚山光學影像，由前後期 TerraSAR-X 雷達影像，前期影像日期為 2009 年 8 月 14 日，即莫拉克風災後一周，故多為裸露地，後期影像日期為 2012 年 7 月 27 日，獻肚山已有植被復育現象，從中挑選裸露地、植被區的均質訓練樣區，再由訓練樣區內的振幅平均值、標準差，分別獲得常態分佈假設下的機率密度函數曲線，藉由植被、裸露地曲線峰值的分離程度，也就是對比度，可獲得偵測植被變異為裸露地適合的分析指標。

HH 偏極：圖 6-43 為 HH 偏極 Improved Sigma 濾波器處理結果，訓練樣區為紅色框範圍，分別 15 個樣區，樣區大小為 7 X 7 個像元，即 42 公尺見方的範圍，圖 6-44 為植被變異偵測指標分析-特徵分離度曲線圖，由峰值估算對比度約為 1.12。

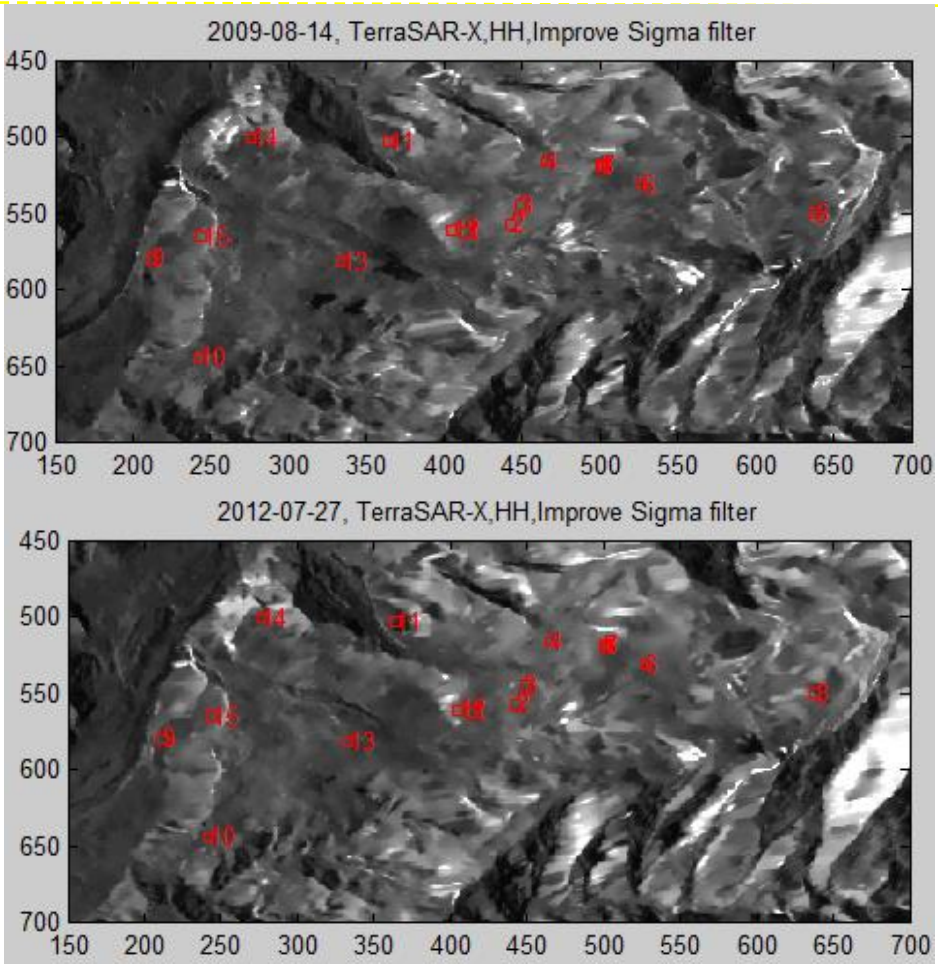


圖 6-43、裸露地及植被均質樣區。上圖為裸露地均質樣區；下圖為植被均質樣區

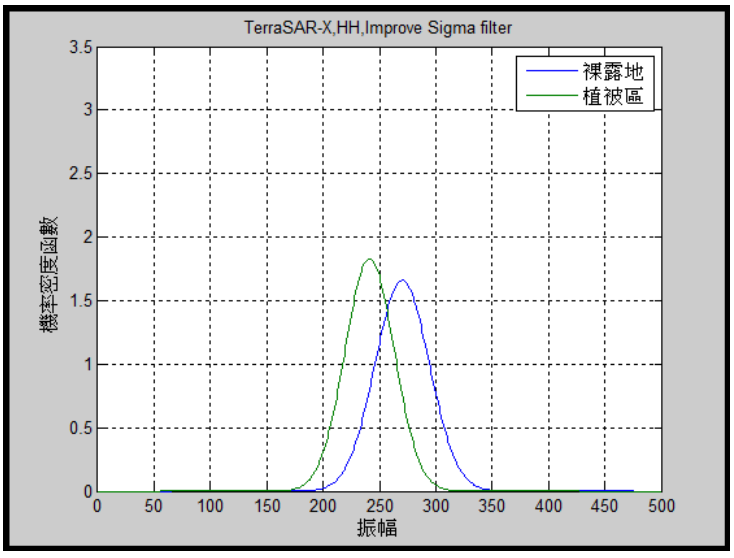


圖 6-44、植被變異偵測指標分析-特徵分離度

HV 偏極：圖 6-45 為 HH 偏極 Improved Sigma 濾波處理成果，訓練樣區為紅色框範圍，分別 15 個樣區，樣區大小為 7 X 7 個像元，即 42 公尺見方的範圍，圖 6-46 為植被變異偵測指標分析-特徵分離度曲線圖，由峰值估算對比度約為 1.26，故 HV 偏極相較 HH 偏極，對於植被、裸露地有較高的特徵分離度。

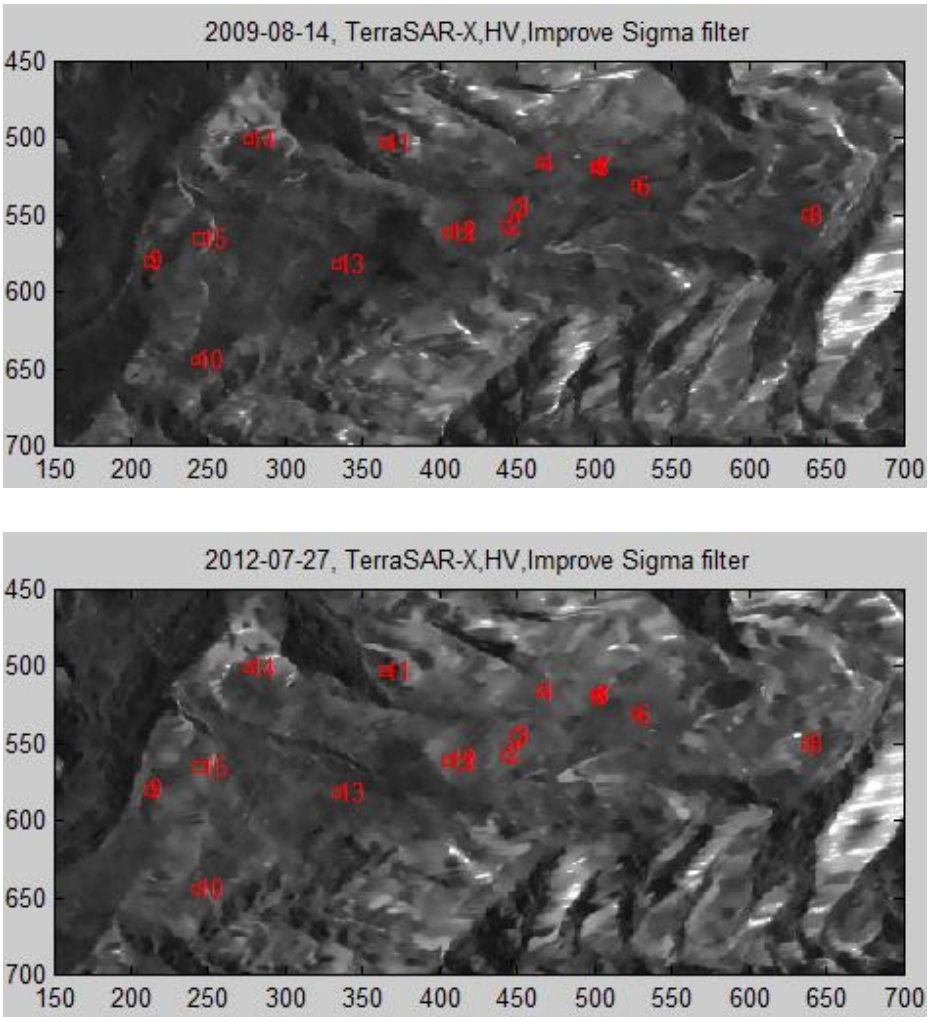


圖 6-45、裸露地及植被均質樣區。上圖為裸露地均質樣區；下圖為植被均質樣區

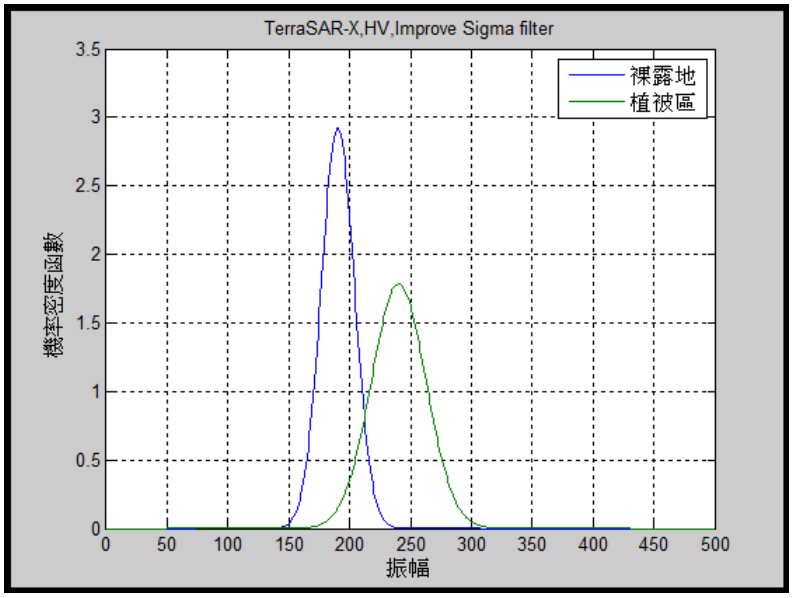


圖 6-46、植被變異偵測指標分析-特徵分離度

雷達植被指數（RVI）：觀察地物的散射特性，植被區域對於電磁波傳遞而言多屬於體散射(Volume scattering)特性，在交叉偏極影像上呈現較強的訊號特徵，如 HV 或 VH 偏極；而 HH 偏極對於二次散射，如建築物、船隻或橋樑等有較強的回波訊號。因此 HV 偏極較適合用於植被觀測，HH 偏極較適合用於聚落偵測，利用多偏極特性計算出一比例值，即為雷達植被指數(Radar Vegetation Index, RVI)。如式（2）所示。而藉由前後期雷達植被指數相減，即為雷達植被差異指數（Radar Vegetation Index Difference, RVID），如式（3）所示。

$$\mathrm{RVI} = 20 \cdot \log\left(\frac{HV}{HH}\right) \quad (2)$$

$$\mathrm{RVID} = RVI_{S1} - RVI_{S2} \quad (3)$$

HH 偏極及 HV 偏極影像分別經 Improved Sigma 濾波處理後，再取 RVI dB 值，如圖 6-47 所示，值域為-10 至 5 dB，訓練樣區為紅色框範圍，分別 15 個樣區，樣區大小為 7 X 7 個像元，即 42 公尺見方的範圍，圖 6-48 為 RVI 植被變異偵測指標分析-特徵分離度曲線圖，由峰值估算對比度約為 1.42，故 RVI

相較 HV 偏極及 HH 偏極，對於植被/裸露地有較高的特徵分離度。由圖 6-48 裸露地機率密度曲線峰值，初步估算裸露地門檻值約為 0.83（-1.6 dB）。

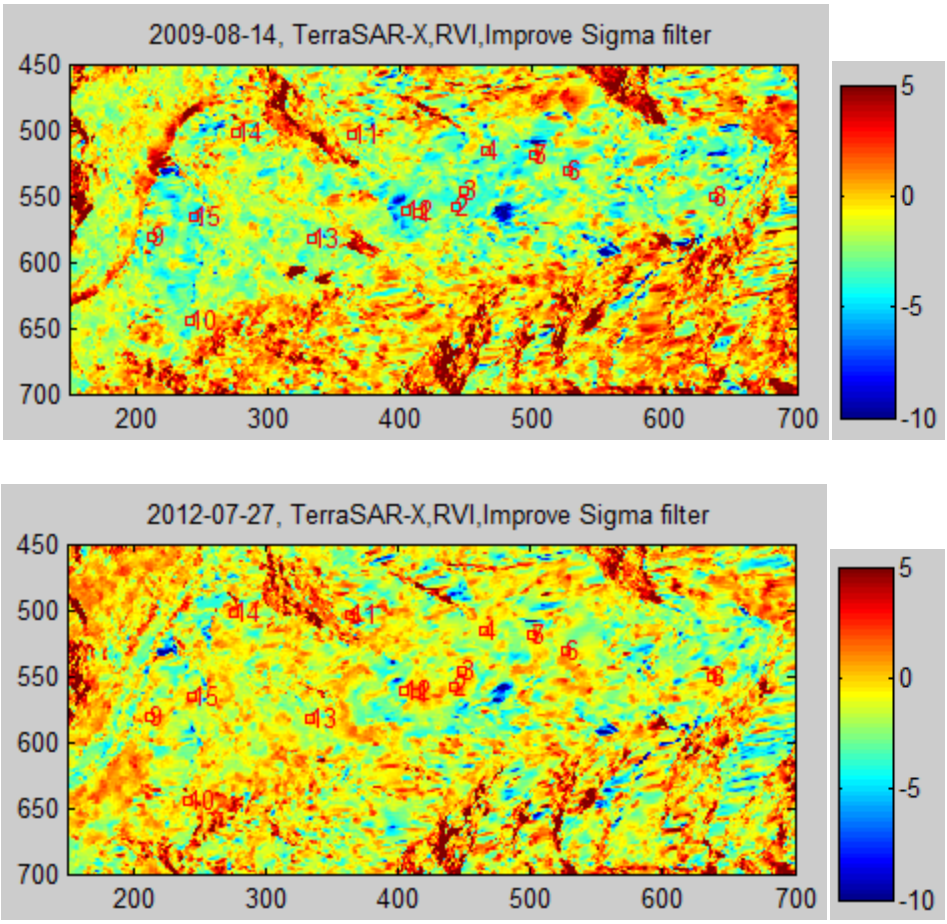


圖 6-47、裸露地及植被均質樣區。上圖為裸露地均質樣區；下圖為植被均質樣區

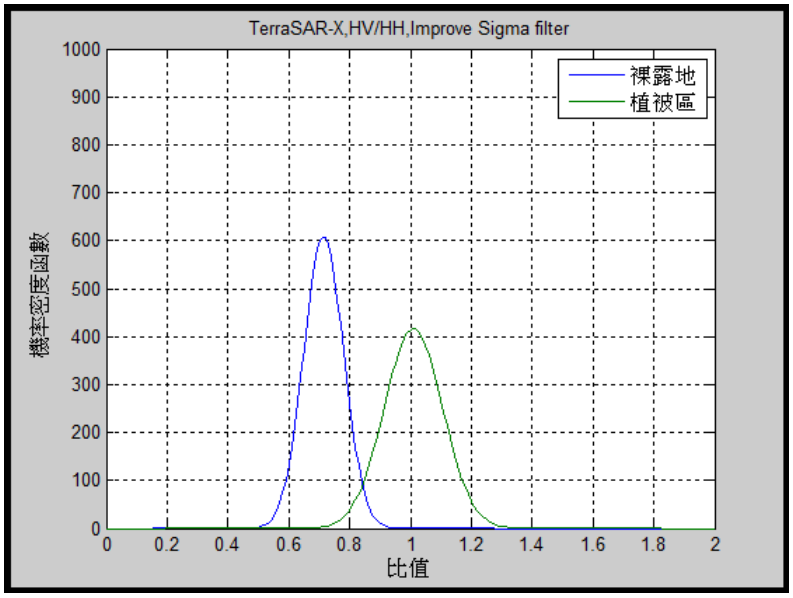


圖 6-48、植被變異偵測指標分析-特徵分離度

裸露地門檻值估算：植被區域輔助圖資，來源包含歷史光學影像、雷達影像判釋的植被區域，以及現地調查等圖資，在此使用 2012 年 07 月 09 日所拍攝的 SPOT-4 光學影像，如圖 6-49 所示；圖 6-50 為常態化差值植生指標（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）分析後成果。

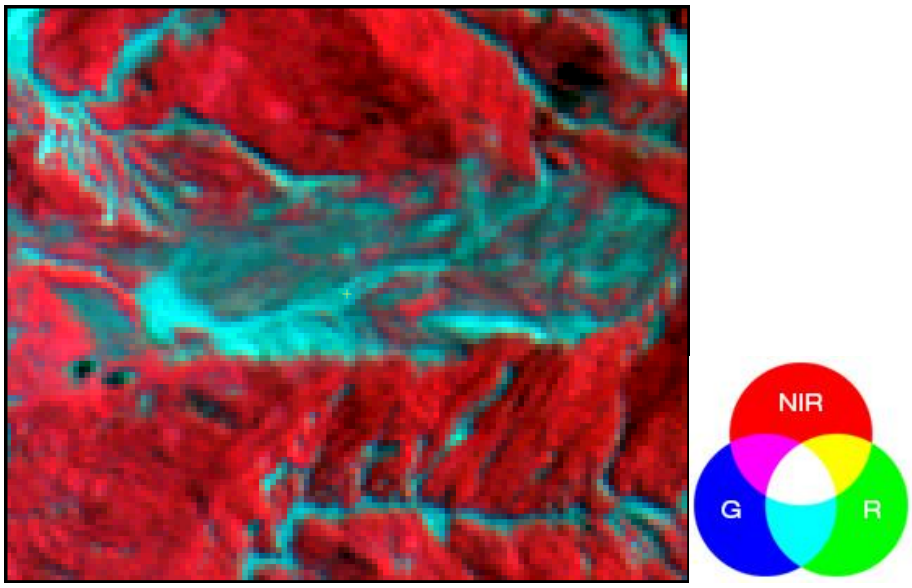


圖 6-49、2012 年 07 月 09 日獻肚山 SPOT-4 光學衛星影像

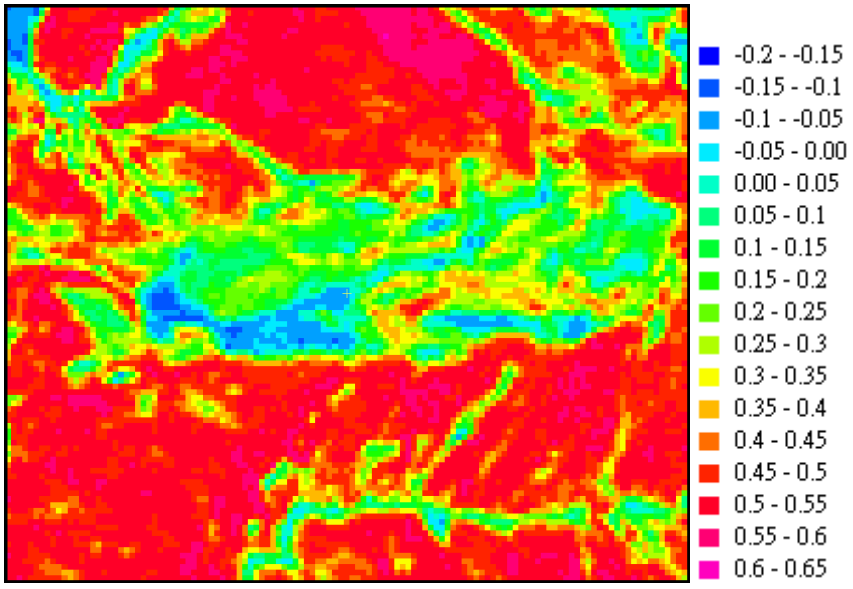


圖 6-50、2012 年 07 月 09 日獻肚山 SPOT-4 光學衛星影像 NDVI 分析成果

由 NDVI 取一門檻值作為植被與非植被區的門檻值，再將非植被區向量圖層套疊至 2012 年 7 月 27 日所拍攝的 TerraSAR-X 合成孔徑雷達影像，如圖 6-51 所示，黃色多邊形區域。並將紅色矩形區域切割，獲得其雷達植被指數訓練樣區(dB 值)，如圖 6-52 所示。本計畫以平均值作為門檻值(約-1.6dB)，與前述估算裸露地門檻值相符，作為合成孔徑雷達影像 RVI 植被變異判釋使用。

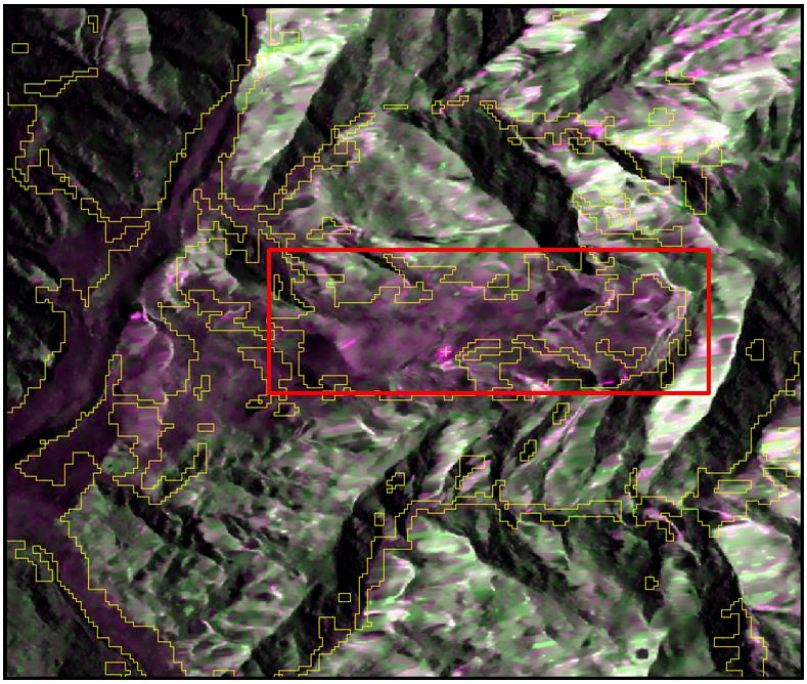


圖 6-51、非植被區域向量圖層（黃色框線）套疊 TerraSAR-X 合成孔徑雷達影像（紅色矩形範圍為訓練樣區）

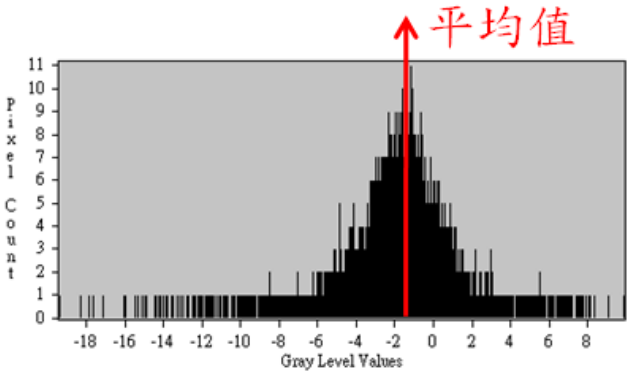


圖 6-52、TerraSAR-X 合成孔徑雷達影像植被指標訓練樣區直方圖

淹溢地區對雷達影像的變異特徵主要來自於水體信號的擴散，對合成孔徑雷達系統而言，一般水體由於介電係數關係，影像上灰階值幾乎都是最低的；除非是海浪或是土石流造成水體結構的改變才會有比較強的回波信號，不過就算比較強，往往仍比其他地物信號為弱。在淹溢判釋變異中採用 2012 年 4 月與 6 月 Cosmo-SkyMed 的高屏地區東港溪沿岸的影像進行判釋作業，如圖 6-53 所示，在圖中肉眼清晰可辨河水因為 2012 年 6 月 10 日

豪雨事件而大幅拓寬甚至溢淹到作物地區。當然，肉眼人工判釋絕非變異判釋所追求的目標，如何透過有效的信號處理方法加上電腦自動化的輔助提高判釋的效率並且科學性的降低誤判的可能才是本案的目標。為選定合適的濾波器類型進行淹溢變異偵測，先根據示範區周邊的土地利用圖與現調照片，如圖 6-54 所示，分別圈選出水體與作物的樣區進行分析，如圖 6-55 所示。

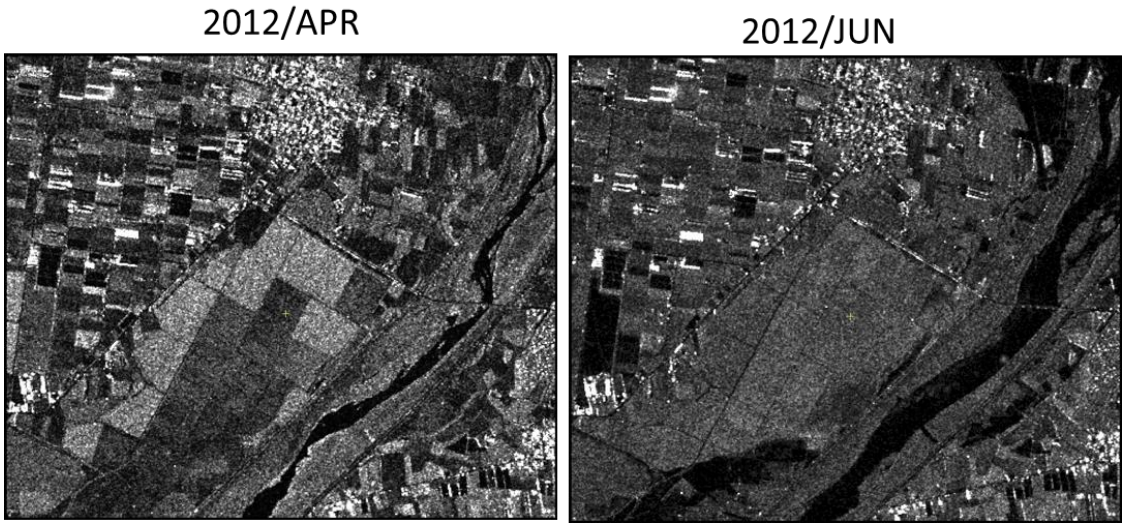


圖 6-53、東港溪地區前後期溢淹 Cosmo-SkyMed 合成孔徑雷達衛星影像

圖 6-54、東港溪地區土地利用圖與現場調查照片

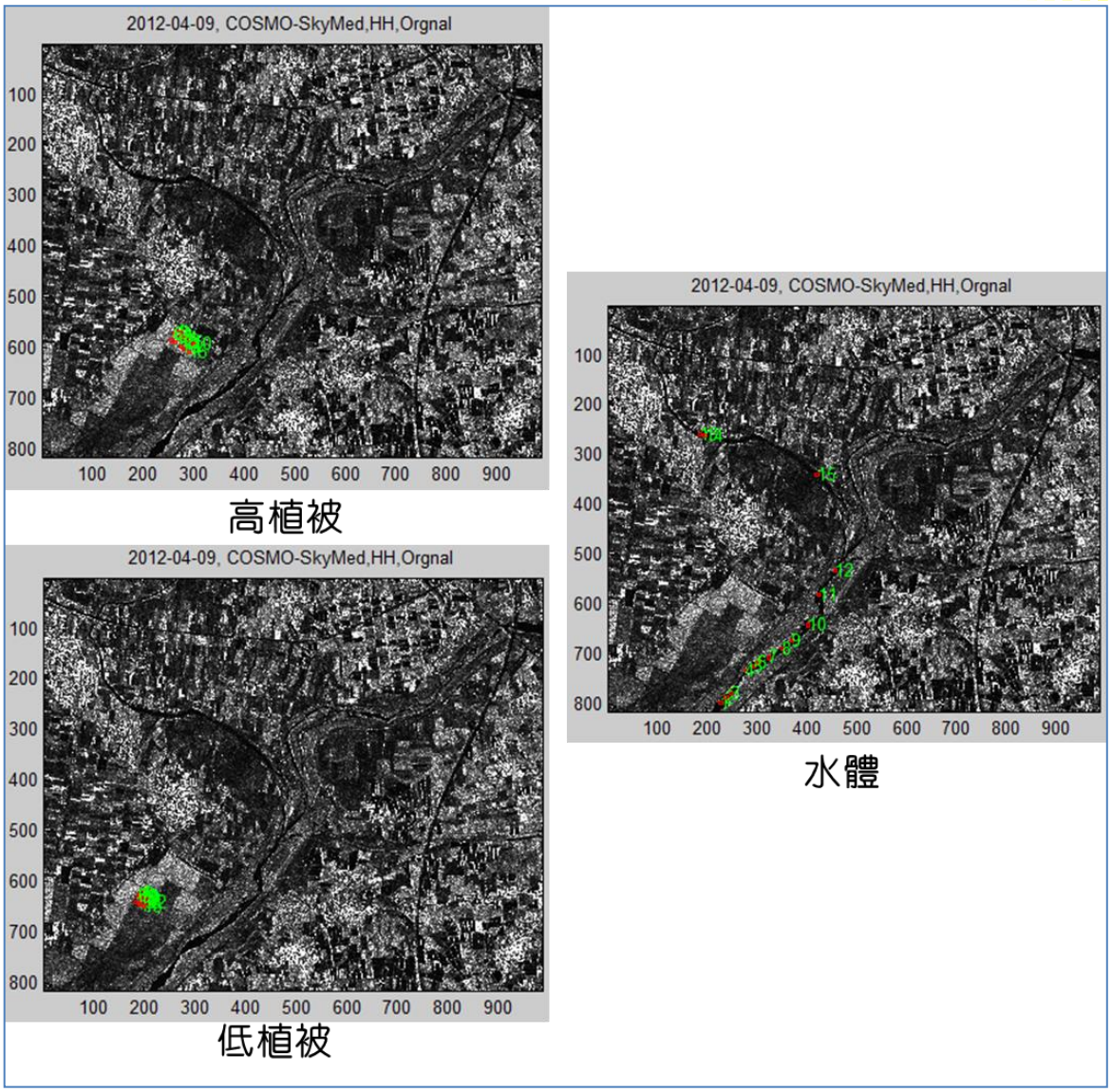


圖 6-55、東港溪地區高低植被與水體樣區圈選位置

圖 6-56 與圖 6-57 為不同濾波處理下高低植被以及水體樣區雷達資料灰階值的統計分析結果；若分析結果呈現兩個分離的峰值，表示該濾波器具備良好的資料分離性，尤其是對應水體與植被。換句話說，經過濾波處理完後分離性高的資料將可輕易地透過強度差異法判釋出水體淹溢範圍。

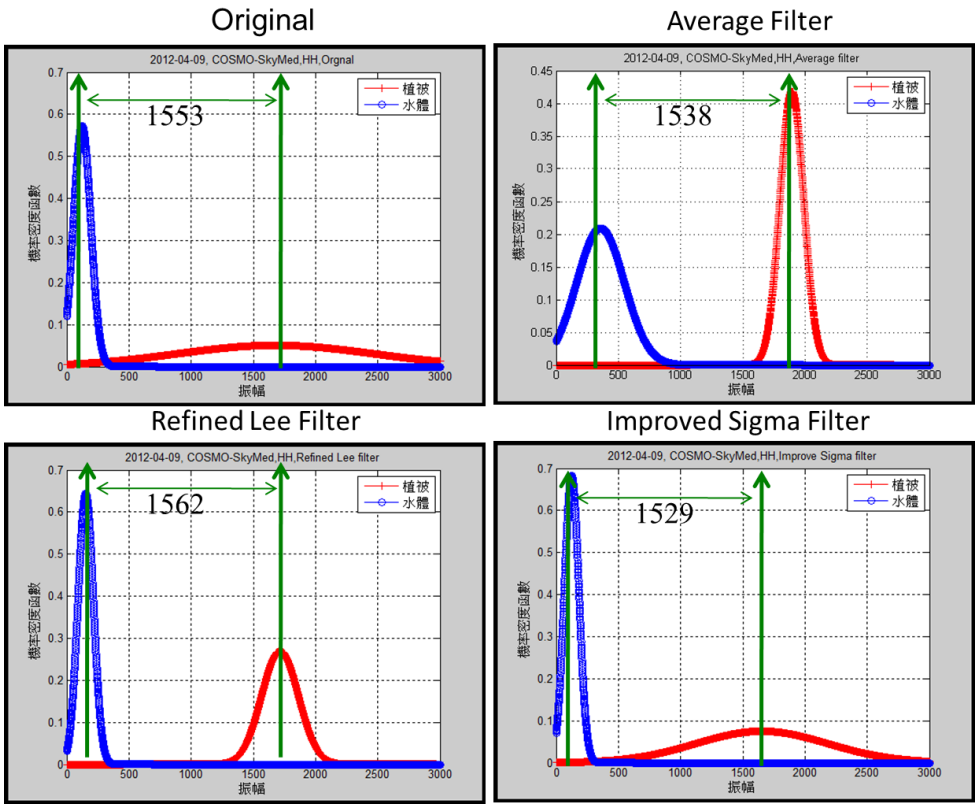


圖 6-56、東港溪地區不同濾波器高植被與水體資料分離度分析

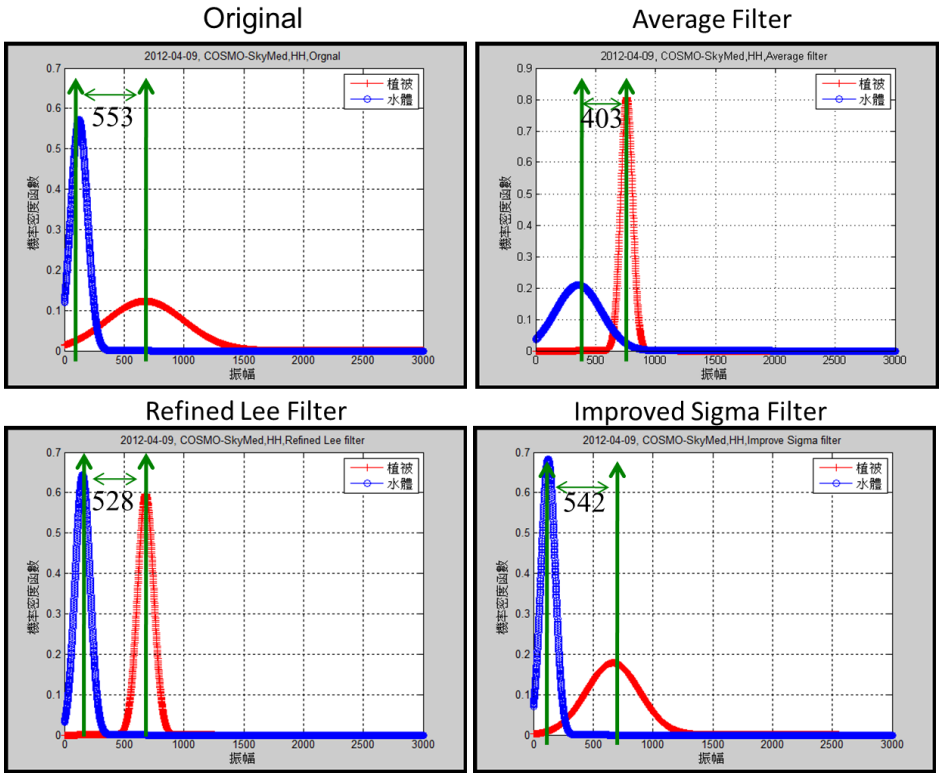


圖 6-57、東港溪地區不同濾波器低植被與水體資料分離度分析

由圖 6-56 可以發現高植被區域雷達信號統計值普遍高於水體許多，基本上是容易偵測的，不過原始未濾波的資料中高植被存在有相當大標準差的雜訊，且仍然有少部份與水體重疊，Improved Sigma 濾波處理後基本上已經降低了與水體重疊的部分，不過由於 Improved Sigma 濾波器保留了較完整的植被統計特徵所以仍有相當大的標準差，平均濾波器處理後擁有標準差相當小的統計值，與水體分離度相當好，不過水體部分，由於平均濾波器空間平均的特性，在小區域往往因為解析度損失形成混合像元而提高了水體的標準差，Refined Lee 濾波器處理的資料在水體保持的跟原始資料近似，高植被資料又可以提供較低的標準差。在圖 6-57 低植被與水體的比較中，兩者信號灰階值較接近，因為雜訊或物種特性重疊的部分大幅增加，因此未作濾波處理的資料很容易發生誤判的情況；透過濾波處理，很明顯得到 Refined Lee 濾波器有完整分離的兩個峰值，因此在淹溢變異分析上，本計畫認為採用 Refined Lee 進行濾波處理後再執行淹溢強度差異判釋，將可提供高效率、低誤判率與低人為介入修正的判釋成果。

4、最小判釋面積篩選

變異點判釋認定上，由於衛星影像拍攝時，若只依據單一像元為變異狀況，因可能受周圍環境輻射值影響，實質監測意義將大為降低，加上衛星拍攝時入射角度不同，常造成像元輻射值計算時混合像元（mixed pixel）現象，依地物的雷達回波反應特性，最小偵測範圍約為 2 X 2 像元（pixel），因此設定四個像元作為最小判釋單位。由前述分析，選用雷達值被指數、地形效應與最小判釋面積等條件，如表 6-6 所示，進行雷達影像植被變異偵測。

表 6-6、變異偵測準則

判斷條件	門檻值說明
雷達植被指數(RVI)	雷達植被指數≦門檻值
雷達影像最小判釋面積	面積 ≧4 個像元

依據前述 RVI 門檻值，進行研究區裸露地偵測，測試成果如圖 6-58 所示，右圖為 RVI 判釋裸露地範圍(黃色多邊形)套疊光學影像，由圖 6-58 可知，排除水體、建物以外，RVI 裸露地判釋區域與光學影像相符。

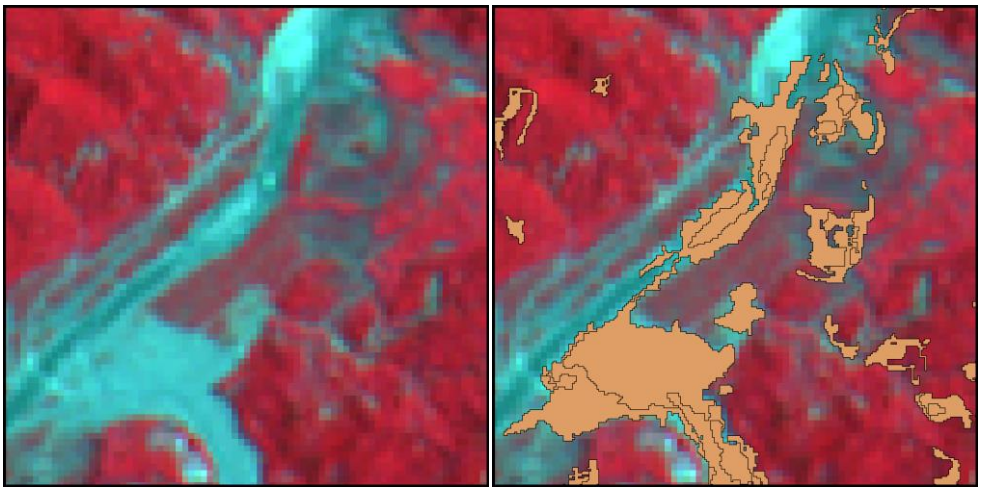


圖 6-58、RVI 裸露地判釋成果。左圖為 SPOT-4 光學影像；右圖為 RVI 判釋裸露地範圍（橘色多邊形）套疊光學影像

而溢淹研究區偵測，測試成果如圖 6-59 所示，右圖為水體判釋範圍(藍色多邊形)套疊 Cosmo-SkyMed 合成孔徑雷達影像。

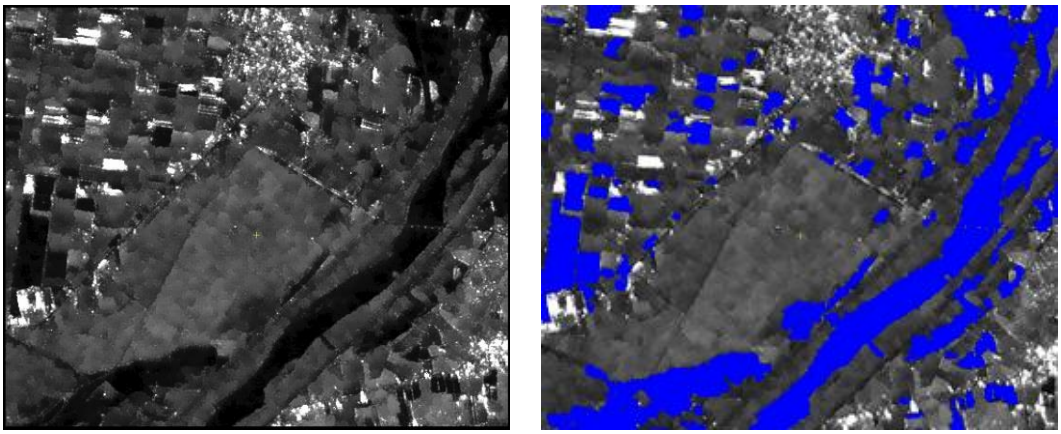


圖 6-59、溢淹判釋成果。左圖為 Cosmo-SkyMed 合成孔徑雷達影像；右圖為水體判釋範圍（藍色多邊形）套疊 Cosmo-SkyMed 合成孔徑雷達影像

四、全台角反射器佈建規劃

(一)角反射器設計

目前機載合成孔徑雷達航線規劃以東西/南北向為基礎，所有測區都有東南西北四個方位向的觀測機會，一般三片式金屬角反射器，以最大反射雷達截面積的3dB 變化範圍計算，其方位角度可達 30 度，如圖 6-60 所示。而在 90 度範圍內的最大反射雷達截面積變化範圍則約為 15dB，雖然已經較金屬平板反射器廣很多，但是需要涵蓋全方位仍屬不足，為簡化每個點位架設角反射器時需進行的方位對位動作，提出全向型角反射器的設計，如圖 6-61 所示。此類角反射器為四個方位獨立的角反射器組合，具備全方位向反射合成孔徑雷達信號的特性(任一凹槽處對準北方即可); 此外，為了符合 L 波段需要此角反射器邊長為 1.5m，如此龐大體積，若全然使用金屬材質又需兼顧其結構強度，其重量會輕易超過 100 公斤，為求兼顧輕質且具備金屬反射特性，建議採用蜂巢板為主體的三明治夾層複合材料，如圖 6-62 所示。由圖可知此類複合結構亦可分為紙蜂巢與鋁蜂巢，紙蜂巢結構將紙質蜂巢板作為強度基礎上面黏著上鋁箔層，最後外圍利用玻纖或樹脂預浸材封裝；鋁蜂巢由於蜂巢結構本身就是金屬具備反射性，因此不須額外的鋁箔層即可進行外層玻纖玻纖或樹脂預浸材封裝此類複材重量視厚度與材質約在 5 至 7kg/m^2 之間。較同面積金屬重量低相當多。不過由於是三明治夾層，因此這類板材的製作成本會較一般金屬高相當多。除了改良材質降低重量外，為了現地佈建容易攜帶，每片 1.5 公尺或 3 公尺的板材，均需分割至單片 75 公分以下，並須提供以手工具即可組裝的設計，以方便架設人員搬運至偏遠山區安裝。在固定樁部分，建議採用植筋或膨脹螺絲的方式安裝於水泥基座上，若無水泥基座的地區則需使用快乾水泥於固定點植水泥樁。

在價格部分，本案向國內相關製造航材廠商詢價，一座全向性角反射器使用蜂巢複材報價從 5.3 萬到 16.7 萬不等，價差甚鉅，如表 6-7 所示。本案亦向最低報價廠商採購一具 1.5 公尺之全向性反射器進行測試，其實品如圖 6-63 所示。

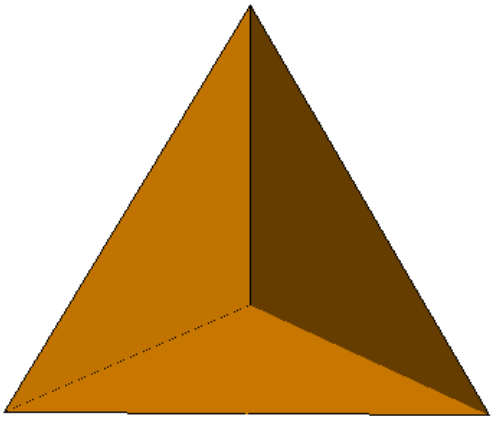


圖 6-60、一般三片式三角角反射器示意圖

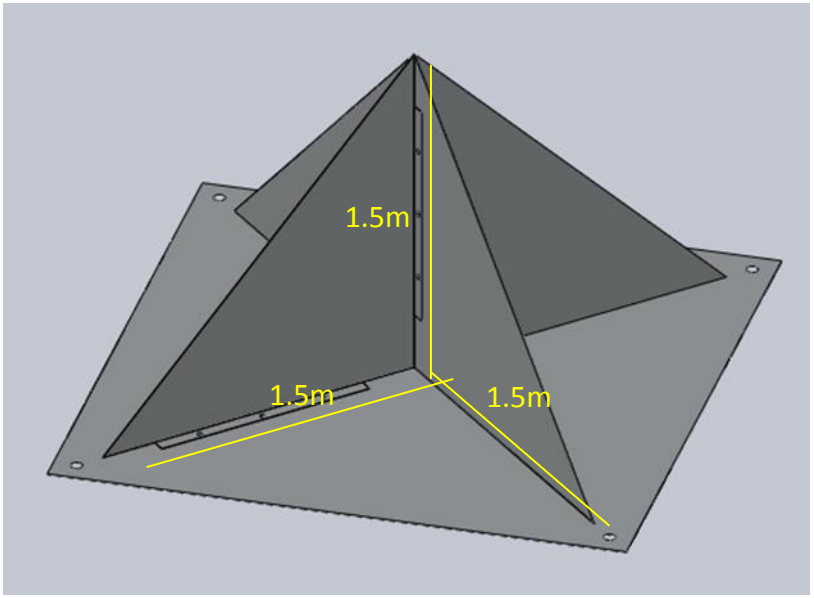


圖 6-61、全向型角反射器示意圖

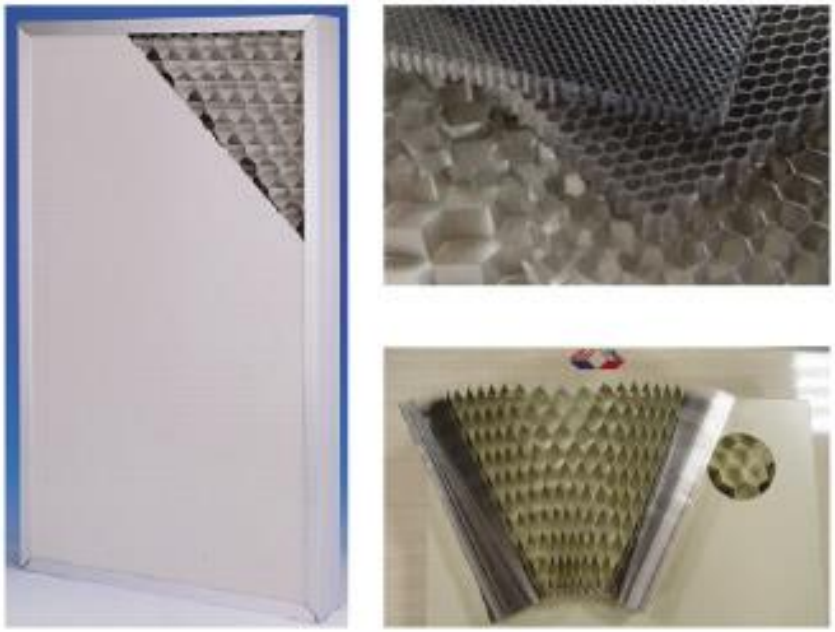


圖 6-62、蜂巢板三明治結構複合材示意圖

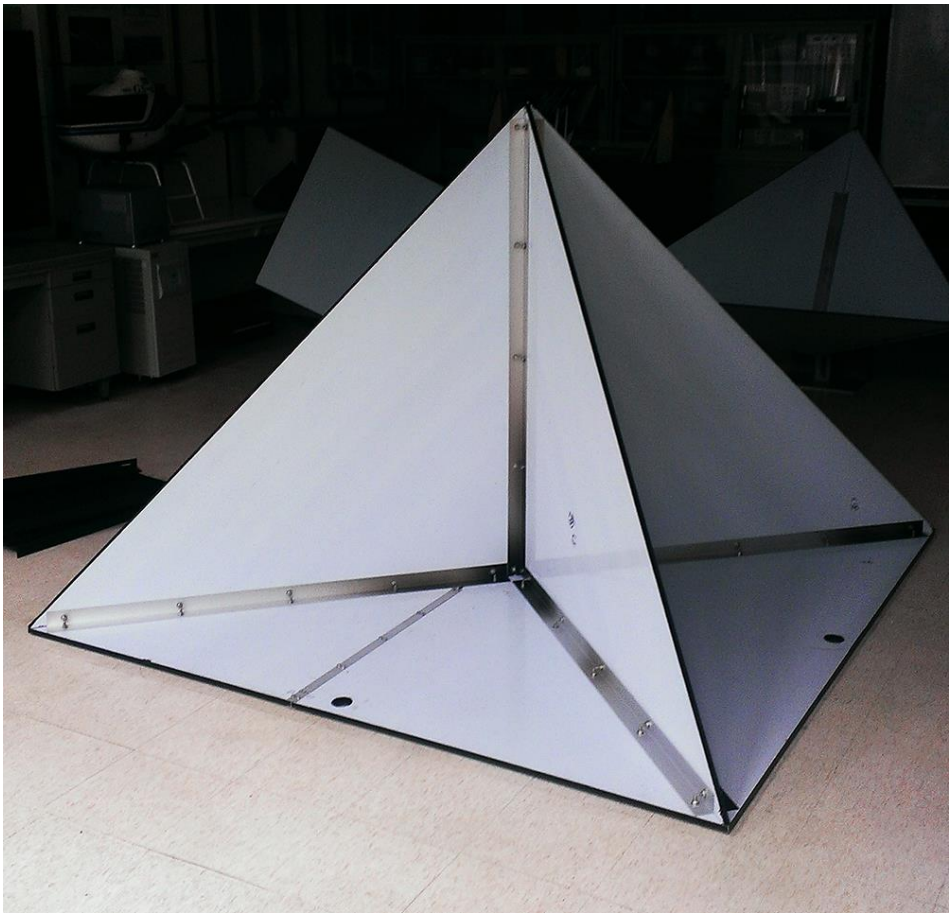


圖 6-63、蜂巢板三明治結構複合材全向型角反射器實體

表 6-7、全向性角反射器廠商報價一覽

廠商	樣式	規格	重量(kg)	報價(未稅)
朝澤	四面(1.5m)	面底板: 鋁板 A3003,厚=1mm 表面處理:陽極黑色 芯材: Φ6mm A3104 鋁蜂巢芯,厚=13mm 接著劑: 鋁蜂巢板專用結構膠(環氧樹脂)	約 72	54,000
	四面(1.2m)	總厚度=15mm	約 46	<54,000
	四面(1.5m)	面底板: 鋁板 A3003,厚=0.8mm 表面處理:陽極黑色 芯材: Φ6mm A3104 鋁蜂巢芯,厚=8.4mm 接著劑: 鋁蜂巢板專用結構膠(環氧樹脂)	約 58	未提供
	四面(1.2m)	總厚度=10mm	約 37	未提供
中華	四面(1.5m)	總厚度=10mm	約 32	65,500
	四面(1.2m)		約 20.2	未提供
銓崴	四面(1.5m)	總厚度=20mm	未提供	167,560
	四面(1.5m)	總厚度=10mm	未提供	145,000
三力	四面(1.5m)	總厚度=6 mm	未提供	115,000
周益	四面(1.5m)	鋁料,底面厚 4mm 立面厚 2mm	約 72	53,000
		白鐵料, 底面厚 4mm 立面厚 2mm	約 216	69,000

(二)佈建規劃

合成孔徑雷達影像幾何糾正的控制點（Control Point）共包含三個類別：第一為共軛點（Tie Point），套疊多個合成孔徑雷達影像圖幅所需的控制點；第二為地面控制點（Ground Control Point），應用地形幾何糾正，以達到 Level 3 產品等級使用；最後為檢核點（Check Point），主要以評估幾何糾正中糾正殘差量值。過去合成孔徑雷達影像進行精密幾何糾正方式，主要以人工選取控制點進行，但合成孔徑雷達影像不若光學自然色影像可直接目視選取，因此耗力費時；加上拍攝圖幅數量若過於龐大，將會是影響工作時程的主要因素之一。為了解決此一問題，建置被動式雷達角反射器（Corner Reflector, CR）為最佳的解決方法，透過合成孔徑雷達訊號反射與散射原理，可大幅度縮短作業時程，以供未來於全台機載雷達影像進行鑲嵌（Mosaic）或拼接（Stitch）作業時使用。

本計畫以全台範圍為目標，因此角反射器的佈建需均勻廣佈於全台各區域為主要原則。佈建角反射器區同時需考量周圍地物的影響，避免強散射點干擾，加上台灣地區地形起伏頻繁且劇烈，平均分布於全台各地難度提高至劇，因此在佈建角反射器地點上需要一些權衡，於取捨之間羅列幾點佈建原則，以及選擇方法，並提出初步之選擇結果如下所列。

依據啟動暨期初會議中所報告雷達角反射器佈建須遵循下列四個原則：

(1).安全性原則

考量雷達角反射器安設位置的保存問題，避免人為干擾、偷竊或破壞，以及避免天然災害易發生區域，如土質鬆軟、河道周邊、溢淹區域、邊坡地區等，降低遺失或毀損的風險，為首要原則。

(2).維護原則

由於佈建之點位需長期留存，因此需考量維護人員安全與長期維護問題，如架設於公立機關範圍內，可行文委請單位內之人員協助觀察是否毀損進而維護與管理架設之設備等。

(3).架設原則

考量到雷達入射方向，基本架設平面近似水平地區，亦符合實際佈建點位架設方便性問題，以及架設人員安全性問題。

(4)分布原則

考量雷達擷取範圍圖幅大小，以及人員佈建困難度，且架設之點位需平均分布於全台地區，包含山區與非山區。雷達特性上需避免雷達陰影（shadow）、疊置（layer over）區域。

依據上述原則，並實際考量角反射器佈建所需經費的多寡，應用目前台灣全島固有的三角及水準控制點為點位篩選基礎，輔以電子向量地圖（公務

單位及建築區)、五千分之一圖幅、水利署雨量站站位、內政部土地利用向量圖、高壓電塔數化向量檔、飛航規劃航跡模擬區塊及數值高程模型等多元資訊，進行空間分析，其流程如下圖 6-64 所示。

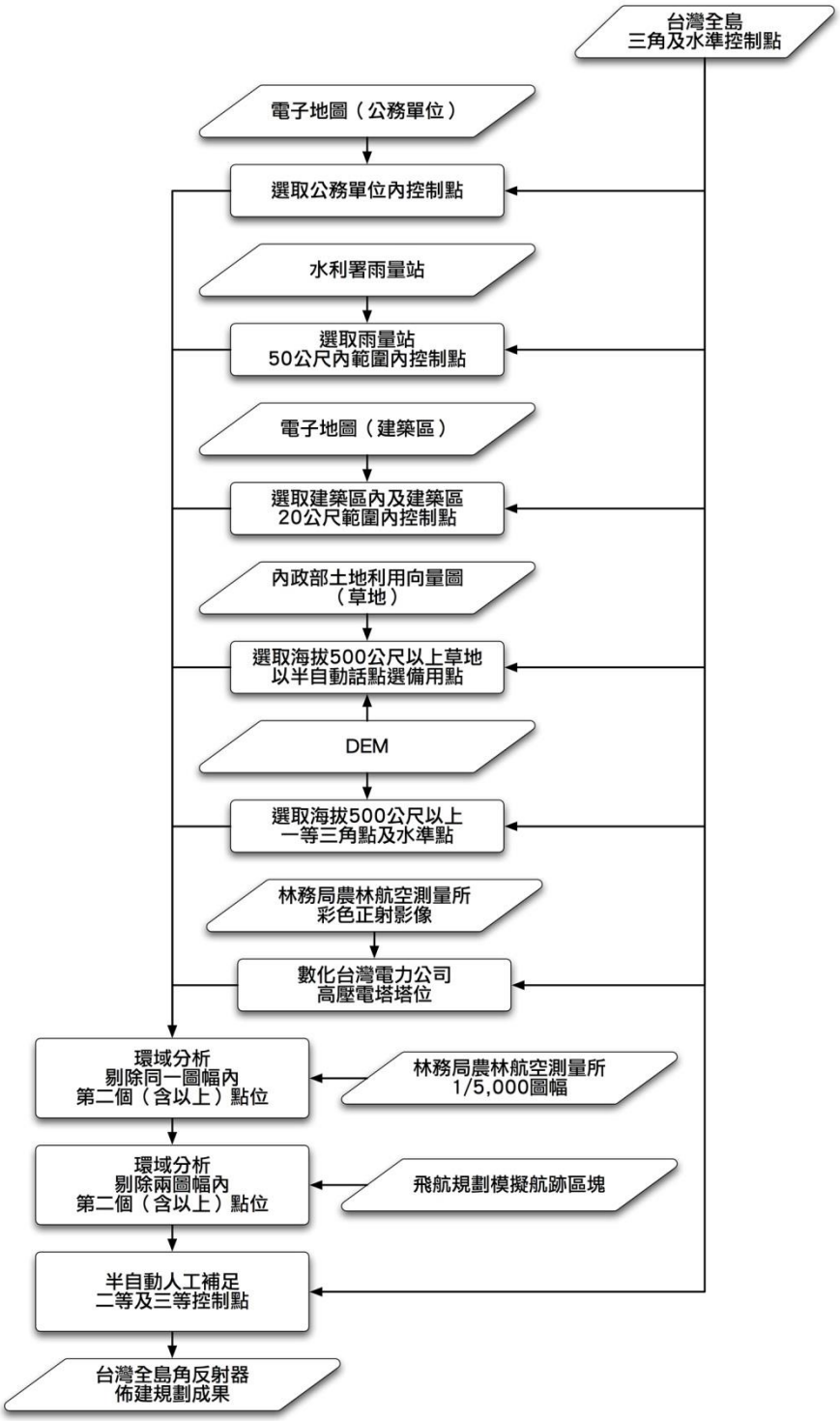


圖 6-64、角反射器佈建點位選取流程圖

由作業流程圖中可知，台灣目前三角及水準控制點原始資料共約 9,800 餘點，依據選取原則，優先以安全及維護兩原則進行點位篩選，其次再考慮分布及架設原則。先以數值高程模型海拔 500 公尺為界，進行平地與山區分界；在平地方面利用電子向量地圖中的公務單位範圍與水利署雨量站站位進行選取，其中控制點只要坐落在公務單位範圍內即被選取；而雨量站站位與控制點點位均為點資料，因此設定兩者如在 50 公尺範圍內，即被選取；隨後，再以電子地圖中的建築區進行篩選，並且為了考量其相關誤差，亦進行兩者相距 20 公尺範圍內的點位篩選。在山區則優先選取一等三角點或一等水準點，主因為一等點位設立處大多為制高點，無任何阻擋物影響交互觀測，亦可避免點位設置於雷達陰影及疊置區域影響，且一等點精度最高，即以此考量選取。此外，架設時為避免角反射器干擾原三角點或水準點位，故需偏移原點位兩公尺以上，並以不遮蔽原三角或水準點位為原則。

透過初步的點位選取，可發現其空間分布並不均勻，山區部分區域受限於地形，甚至並無設置三角及水準控制點，因此針對無控制點區域，以方便架設角反射器為基礎，選取內政部所公布的土地利用類別，選定山區草地八處進行半自動點選備用點作業；並且在考量角反射器的製作與運送成本，應盡量降低點位的設置，但須符合需求為主。由於點位的篩選多寡會直接影響到成本，因此應考慮除了實際佈建的角反射器外，是否有其替代方案。前述提及，角反射器的佈建目的，乃因合成孔徑雷達訊號反射與散射原理可供作為幾何糾正的控制點使用；因此以此構思發想，其台灣電力公司所架設的高壓電塔於合成孔徑雷達影像上亦有其相似功能，且電塔相關地理資訊完整，應可作為替代方案，但因此資料涉及國家安全機密，無法直接取得，因此以折衷的方案進行，即以林務局農林航空測量所公布的最新版彩色正射影像進行山區高壓電塔數化，由於數化成果主要希望能與

原始的三角及水準控制點匹配，分析是否有相鄰處，則可取代角反射器的佈建。而合成孔徑雷達影像對於平地區域因訊號反射強度不一，目標甚為明確，較符合架設角反射器的基本原則，但山區較多雷達陰影與疊置區域，且多為林班地，訊號多為漫射，故優先數化山區高壓電塔，以利作業。在實際繪製高壓電塔後發現，電塔的分布多沿著道路架設，台灣山區的電塔分布正好約略與北橫、中橫及南橫公路相似，因此點位的取代率十分有限。

為了篩選較為平均分布的點位，先以五千分之一圖幅為初步篩選限制，以一圖幅設定為最小單位，如兩點位相距小於一個圖幅範圍時，則直接剔除多餘點位；而相距兩個圖幅以上，無任何點位的區域，則以半自動人工選取補足二等及三等控制點。最後，考量角反射器搬運施工及飛航規劃模擬航跡區塊分布，與五千分之一圖幅篩選步驟相同，進行更進一步的點位篩選。

透過整個角反射器佈建點位選取流程的實作，台灣全島共篩選了 407 個點位。其中，公務機關共有 3 處、水利署雨量站 50 公尺內共有 3 處、建築區內共有 69 處（距離 20 公尺內共有 22 處）、一等點（包含一等一級或二級水準點）共有 115 處（其中包含高壓電塔距離 100 公尺內僅有 1 處）、二等點及三等點共有 187 處、手動選取補點（山區草地）共有 8 處。如圖 6-65 所示。

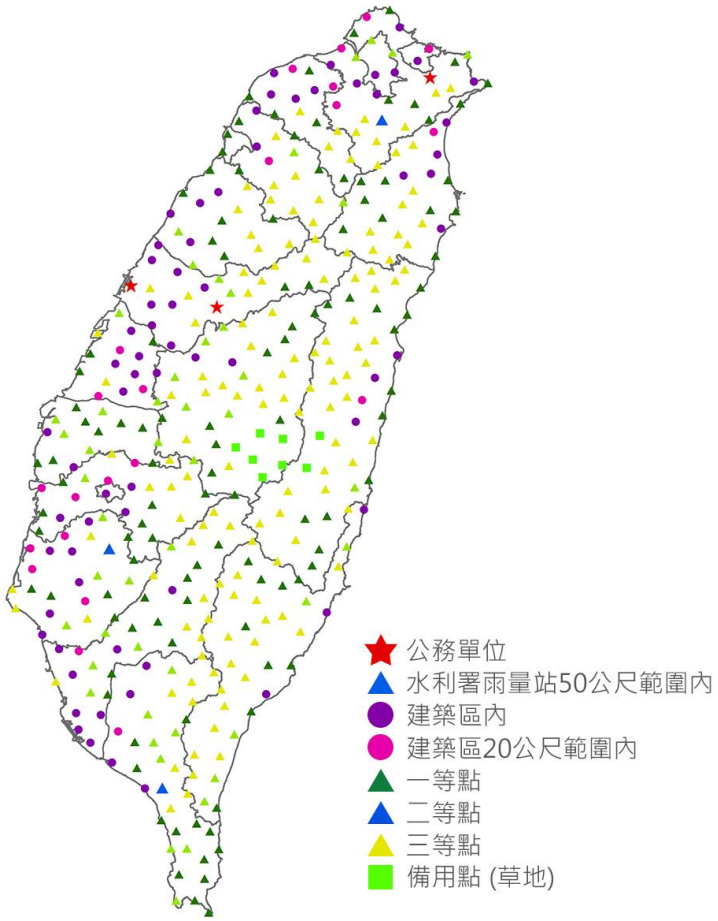


圖 6-65、台灣地區角反射器架設建議分布圖

為能瞭解實際佈建角反射器的需求，透過 GIS 的空間分析，進行點位與道路距離分析以及點位高度分析等，並且依據點位的可達性與困難性，區分不同類別，並估算單一點位的施工單價，以供承辦單位參酌。

在點位高度部分，因都會區、山坡地及國有林區的方便性及機動性均有差異，因此先行以海拔 500 公尺作為角反射器運送難易度的門檻，透過分析，其成果顯示共有 193 處位於海拔 500 公尺以上；進一步應用交通部運研所公布的道路圖層進行套疊分析，點位距離道路 500 公尺以上者共有 117 處，而距離 400 至 500 公尺間者共有 7 處，300 至 400 公尺間者共有 8 處，200 至 300 公尺間者共有 8 處，100 至 200 公尺間者共有 19 處，100 公尺內者共有 248 處，如圖 6-66、6-67 及表 6-8 所示。由圖中可以很明顯看出，海拔 500 公尺以上地區所規劃的點位幾乎都離道路 200 公尺以上。

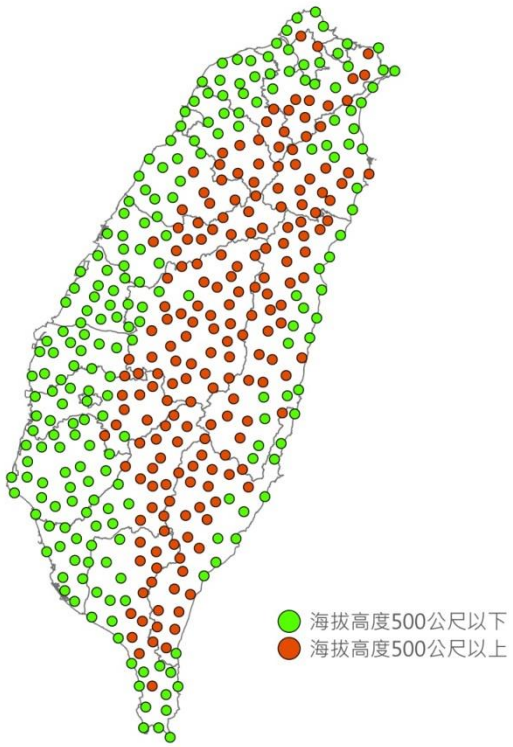


圖 6-66、角反射器點位海拔高度分布圖

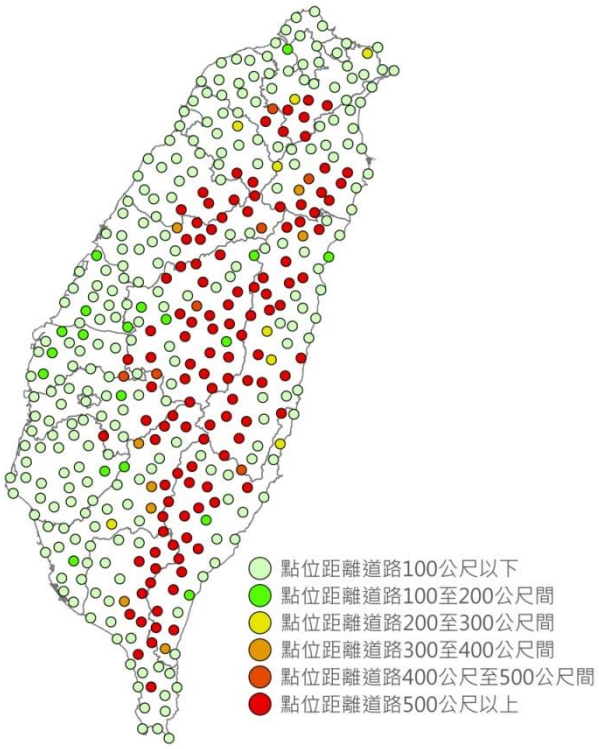


圖 6-67、角反射器距離道路遠近分布圖

表 6-8、角反射器點位與道路距離空間分析成果

點位距離道路遠近	角反射器點位數（處）
500 公尺以上	117
400 至 500 公尺	7
300 至 400 公尺	8
200 至 300 公尺	8
100 至 200 公尺	19
100 公尺內	248
註：道路圖層使用交通部運研所於 2010 年公布資訊。	

經由實際製作的全向型角反射器拆裝及運送評估，點位位於海拔高度 500 公尺以上與距離道路 200 公尺以上者，共有 200 處，由於運送耗時耗力，平均單一點位施工欲一個星期的工作天，建置費用約為 20 萬，維護亦同；而點位位於海拔高度 500 公尺以下與距離道路 200 公尺以下者，共有 207 處，單一點位施工約 0.5 至 1 個工作天，建置費用約為 5 萬，維護亦同，總價約需 5,035 萬，如表 6-9 所示。

表 6-9、角反射器點位佈建經費初估表

項目	角反射器點位數（處）	單價（萬）	複價（萬）
海拔高度高於 500 公尺以上與距離道路 200 公尺以上者	200	(估計)20	4,000
海拔高度高於 500 公尺以下與距離道路 200 公尺以下者	207	(估計)5	1,035
		（預估）總價	5,035

柒、結論與建議

結論

本計畫以機載合成孔徑雷達未來業務化使用為目標，完成機載合成孔徑雷達未來提供產品的類別定義、產品處理作業程序、一般與緊急應變時期的取像與產製作業、飛航路線規劃、軟硬體設備提升、特徵判釋的處理與應用以及全台角反射器的佈建等工作項目。

1.雷達影像產品: 在產品方面，參考國內外相關星載機載與雷達影像資料處理單位的經驗，將常態性的保存 A.單觀點複數合成孔徑雷達影像、B.無控制點幾何糾正航跡快視影像及 C.正射化全偏極合成孔徑雷達影像三種資料等級，以利後續產品產製人員、判釋人員或其他使用者能快速處理或應用雷達影像資料。

2.產製流程: 在產製流程方面，應用 SIPOC 分析方法，建置了產製標準產品所需的標準作業流程，也說明了產製過程中合成孔徑雷達影像需要注意的事項。搭配由全台合成孔徑雷達地形模擬成果，規劃出的全台飛航路線，並針對某些特殊地形地區進行拍攝分析，確定現有規劃航線足以進行取像任務，可以提供使用單位拍攝路線規劃的選擇，並提高飛航取像的效率。

3.緊急應變: 對於災害時期緊急應變，提出以虛擬應變中心為概念的作業程序，並透過產製流程所提及的 SIPOC 分析方法，以現有林務局農林航空測量所 ATIS 系統作為虛擬應變中心骨幹進行緊急應變時第一時間判釋產品的產製；同時，對於應變流程前端從取像到實體資料進入處理器的階段，增加異地起降的可行性分析，以現有台灣六處航空站搭配未來地面影像處理設備規格分析緊急應變程序從規劃取像至產品產製所需時間。

4.特徵判釋: 由於雷達影像的特性，特徵判釋會有許多與傳統光學影像不同的方法，不同的災害類型也有不一樣的判釋模式，由影像雜訊濾波開始，以現有星載合成孔

徑雷達影像進行判釋試做，並對於淹溢以及崩塌地不同災害形式提出不同的判釋方式規劃。最後提出淹溢部分可採用下述兩種方法進行: 1. 單偏極前後期影像即可快速判釋水體增加範圍；2. 以道路、土地利用圖搭配水體判釋門檻值，亦可在災時影像中快速找出不屬於土地利用類別的水體淹溢；在崩塌地部分，由於台灣地區崩塌特徵主要來自於山區的植被變化，因此，須利用雷達植被指數（RVI）進行影像加值後，分離影像中植被與裸地進行判釋。與淹溢判釋相似，同樣可以採用 1.前後期比較以及 2.單期門檻值與其他地理資料的比對進行判釋作業。

5.角反射器佈建:由於機載合成孔徑雷達跨幅僅 5 公里，若需在全台每個航帶都要建置足夠的角反射器做為控制點，其數量將相當龐大；考量到佈建平均性以及各種拍攝航帶的需要，經過嚴謹的篩選流程後，最終提出全向性角反射器以及 407 個架設點位，並針對點位到達與施作的難易提出經費預估。

建議

本計畫的對未來的建議事項，可分為對林務局農林航空測量所業務執行面的建議，以及對行政院與相關部會在政策上的建議，茲分述如下:

對於林務局農林航空測量所建議

1.雷達影像產品: 由於雷達影像產品保存了三種影像等級，同幅影像資料儲存空間將增加達三倍。此資料容量的增加將使得林務局農林航空測量所現有影像倉儲軟硬體設備的負擔會繁重；因此本案建議，配合機載合成孔徑雷達資料產出，林務局農林航空測量所現有倉儲設備軟硬體提升，亦是必須要一併考慮的。

2.產製流程: 機載合成孔徑雷達產製流程的前端即是透過飛行器執行取像業務，由於林務局農林航空測量所現有飛機機齡超過 20 年，長期以來的工作航高亦均未超過 20,000 呎，且內外空間均不足不易架設高觀測角度的天線，在成像範圍與幾何效應上均有所限制，進而增加了航線規劃的密度。建議林務局農林航空測量所積極爭取

可飛行航高更高、空間更大、性能更優異的飛機，將可再減少拍攝時幾何效應造成的疊置與陰影影響，減低拍攝航次，提高拍攝取像的效率。

3.緊急應變: 由於機載合成孔徑雷達資料成像處理需要大量運算，在緊急應變啟動時，雖然林務局農林航空測量所機載合成孔徑雷達已具備 5 公尺解析度的單偏極振幅快視影像，可及時提供判釋使用。惟若要採用 1 公尺解析度的全偏極或多偏極影像進行判釋分析，現有系統成像處理時間對於緊急應變仍有不足。若飛機單趟任務拍攝的大量資料同時下載時，亦容易因應變人力不足產生產製塞車的情況。建議能評估採用工作站伺服器平行處理或是超級電腦進行多工成像處理，可再降低產品產出時間，快速提供災區影像與判釋成果。此外，由於從飛行到最終判釋產品每段產製時間均不同，為求銜接順利避免中間停滯影響應變效率，建議依各階段產製時間適度擴編人力，以維持緊急應變產製順暢。

4.特徵判釋: 由於雷達影像的特性，特徵判釋會有許多與傳統光學影像不同的方法，建議林務局農林航空測量所相關判釋人員能夠加強自我訓練，以實際操作熟悉雷達影像，縮短緊急應變時處理的時間。

5.角反射器佈建: 由於雷達在山區疊置或陰影的特性往往影響幾何校正結果，若未經正射化程序，則山區部分地理座標會有很大差異。此時利用角反射器在雷達影像上產生控制點將使得影像較容易進行正射化處理。因此，建議林務局農林航空測量所佈建時應先以無明顯人工散射點且幾何校正較困難的山區為優先。若山區有人工建物存在可以再行從雷達影像評估是否可在影像上作為控制點以降低角反射器佈建數量。

對於行政院與相關部會建議

1.推廣機載合成孔徑雷達影像的應用：在政府投入不算小的經費在這項系統的建置下，機載合成孔徑雷達計畫雖然以防災應用為開始的初衷，但實際上合成孔徑雷達影像已有很成熟的技術應用領域，因此如何擴大資訊蒐集影響層面，不單獨僅為因

應防、救災需求，在國土監測、環境影響、地　層下陷、海岸變化等，合成孔徑雷達影像可應用於多元的領域。因此，未來農航所機載合成孔徑雷達的系統建置完成後，更應該接續推動相關的機載雷達影像之加值應用。政府扮演的角色，以政策上推廣與鼓勵來推動各項機載合成孔徑雷達的應用，讓政府對於系統投資能夠達到最大的效益。

2.推動機載合成孔徑雷達產業應用發展配套：由過去在測繪領域的發展經驗，新的資料測繪蒐集技術將會為產業的發展帶來新的商機，因此因應這樣的技術發展趨勢，行政部門應該更具前瞻的眼光以產業扶植、升級產業技術水平的角度，整體宏觀的從政策面給與產業發展的引導。例如：從政府主導的機載合成孔徑雷達的各項應用示範中，進一步將雷達技術應用深入民間的各式不同的產品或服務的發展，以科專計畫、產業輔導等方式鼓勵民間進一步發展相關的雷達應用技術或服務、亦或是在重大工程建設的帶動下，無論機載合成孔徑雷達或陸基雷達的工程應用上，進一步深植這樣的工程應用與推動等。

3.延伸農航所既有資料倉儲基礎，資料中心的隱然成形：在本計畫進行的過程中，對於農航所目前所展現出來資訊整合與發展能力，令人印象深刻。特別在巨量影像的倉儲管理與流通上展現不亞於國外先進的雲端技術能力，在政府單位中，是非常值得推廣的良善服務。正因為如此，上級行政部門更應該思考農航所在政府雲發展中的重要角色，以農航所目前具備的光學資料容量、未來即將收納的太空中心福衛影像及未來營運的機載合成孔徑雷達影像，嚴然已是台灣最具規模的資料供應單位，在目前倉儲奠定下來的發展基礎上，更是已具備進一步發展成國家級資料中心的框架，而在政院推動的雲端服務與政府雲政策中，延伸農航所既有的基石及機載合成孔雷達系統的任務下，農航所將是國家級資料中心最好的權責單位與推動角色。

4.務實的科技外交與國際合作：機載合成孔徑雷達系統是一項複雜的整合工程技術，而農航所建置計畫皆由國內廠商執行整個技術整合與應用輔導規劃。這些都充分說明國內已經具備這樣技術與應用發展的能力。在國際上來說，自主性的機載合

成孔徑雷達發展技術是國家科技能量的展現，也意味著台灣已經邁向雷達技術應用的領先集團。因此，政院在帶動國內科技發展與產業發展的思維下，可以透過國合會的媒合，藉由外交上的技術輔導與輸出、國際合作的機會，進一步擴大台灣雷達科技應用在國際上的能見度，也為政府推動的「活絡外交」開拓一些更多元務實的進行方式。一方面除了可以促進台灣雷達產業的發展；另一方面，也帶領國內產業開拓國際市場、培植雷達產業國際化的能力。從政府國內先進計劃的引入，帶動國內產業的發展，進而透過外交上的國際合作增加產業的國際競爭力，創造產業發展策略上的雙贏的示範！

5.政府組織再造與資源整合的迫切性：放眼全世界，劇烈天候的變化引起了各式各樣災害的發生，當災害來臨時，機載遙測資訊絕對是政府當局掌握第一手情資，並作出立即反應的最佳工具。機載合成孔徑雷達的全天候工作特性，更會大大的提高了政府當局災害資訊的掌握與應變能力。林務局農林航空測量所同時擁有的機載光學於雷達遙測系統，無論平時或災中均擔當起政府中千里眼、順風耳的任務。對於各種形式取像與判釋應變的演練，應列為每年必要執行之項目。藉以精進並維持本身遙測資訊快速提供的能力。然而，『工欲善其事，必先利其器』，擴大人員的編制，提升飛行器性能、增加電腦運算的速度、巨量資料的儲存空間以及不受干擾的高速網路傳輸勢必是提升國內遙測資訊應變能力必須要具備的能量，同時也是機載合成孔徑雷達影像即時處理不可或缺的一部分。行政院等直屬決策單位亦應全力支持林務局農林航空測量所完成以下所列事項，以期在災害來臨時可更快速的提供災區第一時間遙測資訊予中央及地方防救災單位使用：

1. 透過組織再造提升位階為國家級遙測資訊提供單位，並在行政院或直屬部會裡取得更多編制人力。
2. 爭取各部會支持取得性能更優異的專屬遙測飛機。
3. 與現有相關能量的單位，如國家實驗研究院高速網路與計算中心或交通部氣象局等單位合作，提升資訊軟硬體性能與情資的整合。

『國以民為本，民以食為天』，災害的發生除了奪走了人民的住所、性命與食糧外，反應不及的災害應變，往往還奪走了人民對國家的信心。望未來政府決策當局能夠全力支持並健全國內緊急災害遙測資訊系統的建置，使全國人民生命財產能夠獲得更大的保障。

茲針對機載合成孔徑雷達系統建置後續的推動，具體提出以下政策推動建議：

表 7-1、未來政策推動工作與經費建議

項次	具體推動方案	工作內容概述	經費建議(佰萬)
1	SAR 科技應用專案計畫實施--產業發展與環境監測領域	1. 成立科技推動專案辦公室 2. 輔導產業應用提案與審查 3. 應用技化與成果推廣 4. 科技專案執行管理	2,000/每年
2	飛航載具提昇計畫	1. 專屬航遙測飛航載具 2. 設備設置與調校 3. 飛航訓練的提昇	800
3	提升緊急應變處理效能	1. 專屬應變流程管制系統與定製化軟、硬體擴充 2. 格網運算資源的投入與整合 3. 建立中區(台中)機載應變資料發布節點分送中心	2,000
4	永續維運支持	1. 機載合成孔徑雷達系統的後續維護 2. 機載合成孔徑雷達影像資料倉儲管理與服務 3. 軟、硬體儲存設備提昇與精進	600/每年

捌、計畫進度

表 8-1 為本計畫工作進度。

表 8-1、計畫工作進度甘特圖

項次	工作項目	101 年					102 年					
		08 月	09 月	10 月	11 月	12 月	01 月	02 月	03 月	04 月	05 月	06 月
01	相關文獻蒐集整理											
02	業務現況訪談											
03	專家訪談需求會議及蒐整											
04	現行業務流程(AS IS)分析											
05	示範區域規劃及取像作業											
06	基礎合成孔徑雷達影像處理標準作業試作											
07	合成孔徑雷達影像雜訊處理濾波器流程試作											
08	示範區影像判釋作業試作											
09	處理模式最佳化											
10	機載合成孔徑雷達業務流程(TO BE)分析											
11	SOP 訂定											
12	報告書撰寫製作											
13	角反射器佈建規劃											
	進度百分比(%)	8.7	11.6	8.7	7.2	7.2	7.2	8.7	8.7	14.5	10.1	7.2
	累計進度百分比(%)	8.7	20.3	29.0	36.2	43.4	50.6	59.3	68.0	82.5	92.6	100

玖、參考文獻

1. Barbara Z. and Jan F., 2003 ,“Image Registration Methods: A Survey”, Department of Image Processing,” Institute of Information Theory and Automation, Academy of Sciences of the Czech Republic.
2. Beckett, K., 2008, “RADARSAT-2 Product Format Definition”, RN-NR-51-2713, MacDonald, Dettwiller and Associates Ltd.
3. Chalermwat P., 1999, “High Performance Automatic Image Registration for Remote Sensing”, PhD thesis, George Mason University, Virginia, USA.
4. Cloude S. R. and Pottier E., 1996, “A Review of Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry”, IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, 34, pp. 498-518.
5. Dare, P. and Dowman I., 2001, “An Improved Model for Automatic Feature-Based Registration of SAR and SPOT Images”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 56, No. 1, pp 13-28.
6. Deming, W. Edwards, 2000, “The New Economics for Industry, Government, Education”, MIT Press.
7. Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency （JAXA）, 2006, “ALOS PALSAR Level 1 Product Format Description List”, http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/doc/format.htm.
8. Eineder, E., 2004, ”TerraSAR-X Ground Segment Basic Product Specification document,” TX-GS-DD-3302, Cluster Applied Remote Sensing.
9. European Space Agency（ ESA ）, 2007, “ENVISAT ASAR Product Handbook”, Issue 2.2.
10. Freeman A. and Durden S. L., 1998, “A Three-Component Scattering Model for Polarimetric SAR data”, IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol. 36, no.3, p.963–973.
11. German Aerospace Center（ DLR ）, 2008, “Radiometric calibration of TerraSAR-X data”, TSXX-TTD-TN-0049, DLR.
12. Graham, L. C., 1974, “Synthetic Interferometric Radar for Topographic Mapping”, Proc. IEEE, Vol.62, pp.763-768.
13. Hajnsek I., Pottier E., 2000, “Terrain Correction for Quantitative Moisture and Roughness Retrieval using Polarimetric SAR Data”, IGARSS2000., p 1307 - 1309.
14. Italian Space Agency（ ASI ）, 2009, “COSMO-SkyMed SAR Products Handbook”.
15. Kao J. R., Wang C. T., and Chen K. S., 2010, “Landslide Mapping Using Dual-Polarization SAR Imagery: A case study of Xiaulin Village”, 2010 Remote Sensing Symposium across Taiwan Strait, National Central University, Taoyuan, Taiwan.
16. Keydel W., 2005, “Radar Polarimetry and Interferometry Applications”, RTO Educational Notes, NATO Research and Technology Organization.
17. Laur H. 1992, “ERS-l SAR Calibration: Derivation of Backscattering Coefficient σ^0 in ERS-1.SAR.PRI Products”, ESA/ESRIN .11 Oct.
18. Lee, J. S. and Jurkevich I., 1994, “Speckle Filtering of Synthetic Aperture Radar Images: A Review”, Remote Sensing Reviews, vol.8, pp.313-340.
19. Lee J. S, 1980, “Digital image enhancement and noise filtering by use of local

statistics", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 2 No.2 pp.165-168.
20. Lee J. S, 1981, "Refined filtering of image noise using local statistics", CVGIP, vol. 15, p380-389.
21. Lee J. S and Pottier E., 2009, "Polarimetric Radar Imaging from Basics to Applications," CRC Press.
22. Lee J. S; Wen J.H.; Ainsworth T.L.; Chen K.S.; Chen A.J., 2009, "Improved Sigma Filter for Speckle Filtering of SAR Imagery", IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing., vol .47, no. 1, p202-213.
23. Lillesand T. M. and Kiefer R. W., 2004, "Remote Sensing and Image Interpretation", John Wiley & Sons, New York, Fifth Edition.
24. Louhisuo M., Rauste Y., Andersson K., 2004, "Use of SAR Data for Natural Disaster Mitigation in the Mobile Environment", Proceedings of the 2004 Envisat & ERS Symposium.
25. Moore R., Ulaby F. and Fung A., 1986, "Microwave Remote Sensing", Artec House, Norwood, MA.
26. Peter S. P. Robert P. N., and Roland R. C., 2000, "The Six Sigma Way," McGraw-Hill.
27. Simada M., Manabu W., Ake R. and Norimasa I., 2006, "ALOS and PALSAR Initial Calibration Status," EUSAR 2006, Dresden.
28. Toutin T., 2004, "Geometric Processing of Remote Sensing Images: Models Algorithms and Methods," International Journal of Remote Sensing, Vol. 25, No. 10, p1893-1924.
29. Ulaby F. T., Elachi C.,1990, "Radar Polarimetry for Geoscience Applications", Artech House.
30. Voigt S., Kemper T., Riedlinger T., Kiefl R., Scholte L., Mehl H., 2007, "Satellite Image Analysis for Disaster and Crisis-Management Support", IEEE Trans. Geoscience and Remote Sens., vol.45, no. 6, pp.1520-1528.
31. Wivell C.E.; Steinwand D.R.; Kelly G.G.; Meyer D.J., 1992, "Evaluation of terrain models for the geocoding and terrain correction, of synthetic aperture radar（SAR）images," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol. 30, no. 6, p1137-1144.
32. Yajima Y., Yamaguchi Y., Sato R., Yamada H., and Boerner W. M., 2008, "POLSAR Image Analysis of Wetlands using a Modified Four-Component Scattering Power Decomposition", IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol.46, no. 6, pp.1667-1673.
33. Yamaguchi Y., Yajima Y., and Yamada H., 2008, "A Four-Component Decomposition of POLSAR Images based on The Coherency Matrix", *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 3, no.3, pp. 292–296.
34. 王志添、陳錕山、胡婕美，2005，「多偏極雷達影像斑駁減抑之研究」，航測及遙測學刊，10 卷 2 期，頁 159-168。
35. 王瑋鈴、王志添、陳錕山、洪浩倫，2008，「利用多尺度自動匹配套疊前後期衛星雷達影像進行變遷偵測」，第三屆海峽兩岸遙測/遙感會議，廣西桂林。
36. 水利署，2006，「衛星災害監測及預警機制建立（1/2）」，計畫報告。
37. 水保局，2008，「雷達影像觀測技術於坡地災害之應用」，計畫報告。

38. 林務局農林航空測量所，2010，「航遙測圖資供應平台及倉儲系統整合工作總報告書」，計畫報告。
39. 林務局農林航空測量所，2011，「航遙測圖資供應平台對外服務與流通業務功能開發工作總報告書」計畫報告。
40. 高郡汝、王志添、蔣政諺、陳錕山，2008，「ALOS/PALSAR 於台灣災害及時監測應用」，第三屆海峽兩岸遙測/遙感會議，廣西桂林。
41. 許書敏，2006，「ERS2 衛星雷達影像及時處理與應用」，資源衛星接收站報告。
42. 國科會，2011，「全天候遙測資訊平台建置」，計畫報告。http://awrsip.csrsr.ncu.edu.tw
43. 戴久永，2005，「全面品質管理」，台中市：滄海書局。

附錄一、會議審查意見與辦理情形

一、期初審查會議

項次	審查意見	辦理說明與回覆
1	本計畫之各項標準作業流程，需考量林務局農林航空測量所過去所累積的資料，進行最佳的規劃。	本計畫主要仍以執行 SAR 影像資料標準作業流程規劃為宗旨，所內過去所累積之其他影像資料之標準作業流程規劃並非本計畫能力所能涵蓋。
2	過去臺灣曾經拍攝過 AirSAR 影像，是否考慮把此影像提出，重新利用、檢視，並以此為參考建立本計畫標準作業流程。	本計畫將包含 PACRIM 計畫所蒐集之 AirSAR 資料作為本計畫標準作業流程參考依據之一。惟 AirSAR 資料結構已屬上世代產品，亦與未來所內 TaiSAR 資料形式有差異，因此僅能部分參考，無法完全利用。
3	有關裝設角反射器控制點位置的選擇，目前規劃平原地區點位較多，山區較少，根據以往經驗，平原地區點位效能不好，而山區點位似乎稍嫌不足，建議可參考全台連續 GPS 站、其他單位設置之點位、本所佈標控制點、國家公園避難山屋位置，或以其他特徵點替代設置角反射器以增加山區控制點數量。	本計畫將向各業管單位取得相關點位圖層進行規劃，另特徵點亦會包含在控制點選取範圍內。
4	本計畫部分作業所需精度較高，資料處理較為精細，建議再次評估控制點密度是否足夠。	依項目 3, 本計畫將向各業管單位取得相關點位圖層後再進行規劃。
5	機載 SAR 技術日新月異，建議可多蒐集各國文獻，是否有與臺灣環境條件相類似的可供參考。	本計畫第一階段即會蒐集各國參考文獻。
6	建議可整合各單位人力、資料及資源等，使本計畫更加完備。	本計畫主要仍以執行 SAR 影像資料相關應用以因應未來所內 TaiSAR 業務執

項次	審查意見	辦理說明與回覆
		行與推動。其他影像資料並非本計畫能力所能涵蓋。
7	沿用林務局農林航空測量所既有航線規劃是否好?建議可參考 DTM 來規劃航線，以減少遮蔽，增加資料的可用性。	常態性取像陰影與遮蔽現象會加入航線規劃考量，將以增加觀測密度或變更飛行方向補足，但原則上仍以林務局農林航空測量所現有航線路徑為基準。
8	航線規劃是否有區分常態及突發狀況?如何迅速找出災點?	本計畫將區分為常態與緊急兩種取像情況，緊急取像將依災害形式與座向進行最佳航線規劃，災點可由機上快視影像迅速取得。
9	航線規劃部分若不考慮飛機性能，建議可參考台灣氣候及環境條件提出最適拍攝航高規劃建議，如何可在短時間內有效率的完成取像，若有需要可進行試飛，以獲得一些資訊提供航線規劃參考。	由於機載 SAR 系統特性，林務局農林航空測量所 TaiSAR 航高將固定於 20000 呎高空。航線試飛部分將與所上協調安排。
10	本計畫部分標準作業流程係應用衛載 SAR 影像進行規劃測試，相同的流程未來可否沿用到機載 SAR 影像?是否需要修改?	現今機載與衛載光學影像處理流程也十分相似，機載與衛載 SAR 亦類似，因此相關流程未來可以沿用。
11	衛載及機載 SAR 於未來防救災上如何搭配使用，以達到最好的效率。	本計畫將會提出聯合觀測搭配建議。
12	臺灣地處亞熱帶地區，地表植被旺盛，在進行災害判釋時如何克服植物的影響?	本計畫中淹塞湖，淹溢與崩塌地等災害判釋，以林務局農林航空測量所機載 SAR 所採用之全偏極系統，將不易受植物影響。
13	崩塌地判釋部分可否提供高程的變化資訊，另盜伐及濫墾可否加入判釋流程中?	高程變化資訊判釋須依林務局農林航空測量所機載 SAR 能力決定，盜伐濫墾則需搭配其他圖資，但基本上都可歸於植被變異判釋。

項次	審查意見	辦理說明與回覆
14	若航高增高雷達功率加大，是否對人體有害。	機載 SAR 雷達輻射傳播至地面能量遠低於個人行動電話之輻射能量，因此不須擔心。
15	計畫書內容部分，公式符號未說明，專業名詞未統一，引用文獻未列出，彩色圖片印成黑白的，全省改全台，建議進行修正。	已於第一次期中報告書中修正。
16	教育訓練建議著重實際操作並增加時數。	教育訓練時數將維持 12 小時，會調整實作所需時數。
17	機載 SAR 對本所而言是一項全新的技術，請針對影像處理及判釋所需之軟硬體設備，經通盤考量後提出建議，供本所未來系統設備採購及更新之參考。	本計畫會提供相關軟硬體建議。
18	建議本計畫於期末報告書中可對未來機載 SAR 的發展、應用方向及具體可行的規劃內容提出建議，例如於飛機上同時安裝 SAR 及光學像機進行取像的優點及可行性。	以林務局農林航空測量所現有飛機內部空間，光學雷達雙系統並行並不可行。

二、第一次期中審查會議

項次	審查意見	執行說明與回覆
1	機載合成孔徑雷達技術日新月異，建議可多蒐集各國文獻，是否有與臺灣環境條件相類似的可供參考，或是有國外具體成功的案例可提出。	已增加相關說明，請參閱第一次期中修正報告書第 2.1 節。於期末報告中總列於第玖章並均於第陸章各節開頭進行說明討論。
2	如何可加速本計畫之各項標準作業流程?如增加各方資源及設備等。	已增加相關說明，請參閱第一次期中修正報告書第 2.5 節第 42 頁。於期末報告書中則編列於第陸章第二節 26 頁『未來緊急應變 TOBE 分析』。
3	各委員期初建議之回覆請放入期中報告書。	已增加期初審查意見及辦理情形，請參閱第一次期中修正報告書第 1.4 節第 10 頁。於期末報告書中則編列於附錄一。
4	計畫執行進度第 3 點“專家訪談需求會議及彙整 – 執行中”為期中審查進度須完成事項，建議修改。	已修改計畫甘特圖，請參閱第一次期中修正報告書第 1.3 節第 9 頁。於期末報告書中則編列於第捌章。
5	附錄 B 請附上出列席人員及林務局農林航空測量所回覆內容。	已修改相關說明，請參閱第一次期中修正報告書附錄 B、C 第 55 至 57 頁。於期末報告書中則編列於附錄二、三。
6	附錄 A 第貳點之第五點“以已知受災區為出發點考量”是否恰當，若不知災區位置又必須搶時效該如何處置?	台灣地區地幅有限，災害發生時災區資訊來源亦相當多元，機載合成孔徑雷達系統取像跨幅有限，初期僅能以歷史災害潛勢與現況資訊率定災害地區進行取像判釋。若需進行未知區域偵蒐，仍需依靠大面積拍攝的星載合成孔徑雷達系統協助定位。
7	需求訪談宜瞭解與確認林務局農林航空測量所所需的資料內容，俾確定合成孔徑雷達可提供合用的資料，建議可用影像或文字的方式將具體內容列出。	由於目前並無林務局農林航空測量所機載合成孔徑雷達資料，目前以星載資料提供，請參閱期末報告書第 51 頁、第 52 頁。

項次	審查意見	執行說明與回覆
8	依目前規劃示範區進行取像及林地災害判釋作業，所獲取的合成孔徑雷達影像類別為何?其需求格式及規格請具體敘述或量化說明，例如拍攝角度與方位的一致性，如何才算一致?變異比對為何種變異?一定程度的基線，何謂一定程度?配合其它圖資，是指什麼樣的圖資等?	目前將採星載單偏極與雙偏極各兩幅合成孔徑雷達資料進行變異判釋。請參閱期末報告書第 51 頁、第 52 頁。
9	第 15 頁緊急應變機制測試成果為何?其具體結果與結論為何?	緊急應變機制測試將以達成時間做為檢驗標準，以期在最短時間內將災害地區影像上架提供有關單位參考。
10	林務局農林航空測量所機載合成孔徑雷達緊急應變機制資料產出時程預計多久?比起星載合成孔徑雷達可縮短多少時間?相關航線規劃如何做?	已知林務局農林航空測量所機載合成孔徑雷達系統快視影像於飛機上即可取得，1 公尺解析力單幅成像時間約在原始資料傳入成像伺服器後 45 分鐘獲得(單偏極、5 公里 x10 公里)。較現有星載合成孔徑雷達成像處理時間略快，但整體時程主要縮短的是資料運送與取得的時間，此部分最多花費時間約在三小時內，較星載系統經常會花費到 8 小時以上為快，請參閱期末報告書第 24 頁。
11	第 20 頁角反射器數量一為約 500 點，另一為 553 個點，請統一數量，另全省改全台。	遵照辦理，已將專家訪談需求會議及彙整增訂，請參閱第一次期中修正報告書第 2.7 節第 48 頁。期末報告縮減為 407 點(第 81 頁)。
12	控制點精度需求為何?全控或平/高控?角反射器中心與 GCP 之平移如何改算、處理?	機載合成孔徑雷達系統控制點需求均為全控點。在精度需求部分，依內政部高精度及高解析度數值地形模型測製規範說明，在像元尺寸小於 0.3 公尺時，平面中誤差不得大於 0.2 公尺

項次	審查意見	執行說明與回覆
		且高程中誤差不得大於 0.3 公尺，本機載合成孔徑雷達已知像元尺寸為 1 公尺，因此若以人工架設角反射器方式當作控制點，其反射中心平面中誤差應不得大於 0.67 公尺且高程中誤差不得大於 1 公尺。
13	專有名詞請解釋定義，例如 LEVEL 3 產品、近距重疊模式、疊置效應二值圖等。	已增加相關名詞解釋，請參閱期末報告書附錄四。
14	增加山區角反射器點位數量是否為最省時省力的方法?改變航線或增加重疊，何者效率佳? 可否藉由此二種方法減少角反射器的佈建?	改變航線以及增加重疊區域僅是減低各類合成孔徑雷達地形效應影響的方法，與角反射器佈建並非絕對相關，角反射器主要針對無特殊地物特徵地點進行控制點定位，以利後續機載合成孔徑雷達影像訂位作業。本團隊正在持續進行最佳航線規劃以減低各類合成孔徑雷達地形效應的影響，以及角反射器位置佈建規劃。
15	有關緊急災害應變航線規劃，建議可朝向三個方向規劃：(一)地質構造方向。(二)歷史災害位置。(三)重要集水區。	遵照辦理，請參閱期末報告書第 30 頁。
16	期中報告過於簡單，寫法必須嚴謹，相對應的參考文獻要寫清楚，圖表的說明要解釋清楚，部分圖片品質不佳，可讀性低。相關文獻蒐集整理過於簡略，請詳細補充，並具體列出各項。	遵照辦理，已於第一次期中報告修正文件中修訂。
17	未來林務局農林航空測量所執行機載合成孔徑雷達取像作業所需的人力，必須在計畫前期加強力度，給予	遵照辦理，教育訓練規劃以及相關軟硬體需求將於下次工作會議中提出。

項次	審查意見	執行說明與回覆
	適當的教育訓練，相關的軟硬體規格、數量亦須及早提出，以利將來後續營運。	
18	示範區規劃在莫拉克颱風受災嚴重的旗山事業區，此地區中央地質調查所曾於 99 年進行“國土保育之地質敏感區調查分析計畫”，其資料可供參考。	建請林務局農林航空測量所協助取得相關資料。
19	合成孔徑雷達影像資料於林務局農林航空測量所內部網路傳遞與處理後以人工傳遞或自動方式進行上架的程序，若有與外部網路連接，需有強大的防火牆以避免外部入侵的可能性。	本計畫目前資料傳遞架構即在內外網分離的前提下，設計最省時的資料產出作業 SOP 架構，防火牆功能為原林務局農林航空測量所現有資安設備，本即應存在於本架構中。
20	疊置或陰影效應的模擬目前均在電腦上模擬，所需時間不多，建議可再模擬細緻一點，以獲取更有效率的航線規劃。	本團隊正在持續進行最佳航線規劃以減低各類合成孔徑雷達地形效應的影響，以及角反射器位置佈建規劃。已於期末報告書第。
21	表 2.2-1 產品種類與附錄 B 所列不同，請統一，另表 2.2-1 下方第三行產品 1 或 2 是否應為產品 2 或 3?	已修正相關說明，請參閱期末報告書第陸章第 13 頁。
22	圖 2.3-1 非林務局農林航空測量所現有緊急災害應變機制，請重新分析。	已修正相關說明，請參閱期末報告書第陸章第 20 頁。
23	未來因應緊急災害取像可能會有轉場或夜航的需求，建議可邀請空勤總隊飛行教官參與本計畫工作會議。	遵照辦理，預計於下次工作會議中邀請空勤總隊飛行教官與會。
24	角反射器佈建規劃涉及未來合成孔徑雷達可否如期取像，亦攸關林務局農林航空測量所人力、時間及經費的安排，務必於 102 年 1 月前規劃完	本團隊正在持續進行最佳航線規劃以減低各類合成孔徑雷達地形效應的影響，以及角反射器位置佈建規劃。

項次	審查意見	執行說明與回覆
	成，以利後續作業。	
25	現有的示範區規劃無法進行淹水區域判釋研究，請另外增加示範區。	本團隊擬增加屏東沿海地區進行淹水判釋研究。

三、第二次工作討論會議

項次	審查意見	執行說明與回覆
1	請極隼科技股份有限公司提供詳細夜航取像時間、飛行航線及高度、航線可容忍差異範圍、重覆航線所需準確度、轉場需求及所須配合事項等資訊，以利林務局農林航空測量所詢問國防部、民航局等相關單位並評估影響範圍及林務局農林航空測量所是否須派員協同內政部空勤總隊進行夜航訓練，及正式去函內政部空勤總隊說明合成孔徑雷達取像所需配合事項等。	誠如會議現場空勤總隊教官所言，飛行現實條件往往不可預期，對合成孔徑雷達系統而言，飛行偏差主要影響地面影像位置，強制訂定容忍差異恐影響飛行員本身飛行意願；干涉觀測所需要的重複航線飛行，主要是為了形成高相關干涉基線，希望兩次平行飛行路徑能維持在 100 公尺半徑內。
2	飛行實務上航線偏 5 度或 10 度進行取像似乎不易控制，因東北季風吹拂其影響程度甚至超過此偏差，是否可提供容忍範圍。	飛航訓練部分應屬合成孔徑雷達設備建置計畫，本計畫此部分若有相關項目將併入教育訓練中說明。因應此一實際問題，本計畫飛航規劃將仍以東/西與南/北向航線為基礎。
3	限航區之航線規劃部分建議專案陳報國防部及其他單位。	航線規劃依循林務局農林航空測量所現行航拍航線，是否需另專案陳報依所內意見辦理。
4	合成孔徑雷達取像任務與空勤總隊任務相衝突時，如何執行?	依所內平時協調流程辦理。
5	航線及角反射器佈建規劃，離島部分是否須考量?	離島地區如主席當日所述，由於國安的問題本飛行器目前並無考量離島地區使用。
6	若 DEM 精度不足，於航線規劃時仍會有死角，建議將安全係數提高，不要規劃得剛剛好，以免造成部分區域無法獲得影像。	因為林務局農林航空測量所現行合成孔徑雷達系統採用 L 波段，山區植被的問題比較不受影響，都會區僅能利用多角度的拍攝方式加強，但受限高度與觀測角度影響將無法完全克服。
7	於 2 萬呎高空拍攝平地及山區，是	飛航高度與解析力較無直接關係，關於

項次	審查意見	執行說明與回覆
	否會有像元不一致的情形?其像元尺寸是否都維持 1m 解析度?	山區與平地起伏部分在合成孔徑雷達硬體設計上已有分別對山區與平地設計不同拍攝參數，僅需於航線規劃上分別飛行即可。
8	簡報中概估成像所需時間是否符合林務局農林航空測量所需求，若仍須加快速度要如何增加設備，另外是否需要備用方案與設備。	應變速度與每次處理拍攝面積是相關的，這一部分端賴需求的數量，增加硬體設備絕對可以提升應變的速度；但如果是常態性的拍攝任務，目前設備數量應可應付一年兩次資料蒐集處理的需求。
9	建議將國外機載合成孔徑雷達實務案例及經驗歸納分析供林務局農林航空測量所參考。	遵照辦理，期末報告附錄五已收錄國外機載合成孔徑雷達實務案例。
10	災區搜尋部分，貴公司建議可搭配星載合成孔徑雷達以大面積搜尋，是否還有其他管道可及早發現災區供拍攝規劃，請一併提出建議。	目前僅以遙測的方式作為規劃，其餘部分有賴國家其他資源的整合，這會比較屬於災防中心的工作任務，本計畫無法更深入。
11	本計畫可提供林務局農林航空測量所建議，檢視現有資源及設備是否不足?標準作業流程是否需增加或修訂?實務上硬體的保管與使用、人員的教育訓練如何進行?以便及早因應明年機載合成孔徑雷達的引進。	已修正相關說明，請參閱期末報告書第陸章第 39 頁。
12	未來機載合成孔徑雷達引進後建議可選定易受災區域進行多次取像，進行飛航參數的修正，以便獲得最佳的影像。	本計畫僅規劃飛航路線，若需進行參數修正，仍需由機載合成孔徑雷達採購案負責。已將委員建議放入期末報告建議中。
13	可提出未來產官學資源如何整合，以因應緊急災害應變。	此部分涵蓋甚廣非本計畫項目內所能執行。
14	試作區 TerraSAR 影像是否不足?建	本計畫其中一項主題是變異需求分

項次	審查意見	執行說明與回覆
	議影像來源可以更多樣，例如以前的 AirSAR 影像。另外試作區可增加集水區的概念，建議增加陳有蘭溪流域 PALSAR 影像進行分析。	析，但如果是單純做處理，使用先前 AirSAR 這些資料問題並不大。但先前 AirSAR 資料並無變異前後影像可供分析，另衛星資料部分由於計畫經費限制，額外購置如 TerraSAR-X 的高解析雷達影像是比較困難的。
15	成像時間與應變時間有很大的關聯，考量效益問題，林務局農林航空測量所的設備及資源有限，是否可考量利用緊急災害應變航遙測資訊平台或國家高速網路與計算中心來分散負擔並提供備源。	主席現場說明所內也正與 NCHC 洽談中，也是未來資源整合的方向。
16	疊置與遮蔽效應目前做了 5 度的模擬，是否可多做 10 度的模擬?	本計畫為找出最有效的全島觀測航線，5 度偏角於山區雖已知其效益，惟在實際執行面仍有其困難性，此部分應與總隊持續協調試飛測試而非再進行其他多角度觀測模擬。
17	角反射器的佈建有其急迫性，希望可於下一次工作會議確定其佈建位置、大小等規範，以利林務局農林航空測量所進行後續角反射器佈建計畫。	遵照辦理，將於下次工作會議中提出。已收錄於期末報告第陸章第四節。
18	建議可洽機載合成孔徑雷達供應廠商取得合成孔徑雷達影像資料規範、原始資料格式及特性，以免目前以星載合成孔徑雷達建構的標準作業流程無法配合。	已透過所上取得相關資料，應不致發生無法配合事項。
19	角反射器擬以台電輸電電塔位置佈建，若位置資料取得有困難，可請林務局農林航空測量所協助與台電公司協調，另公家機關位置請將清	已發文所上，請所上協助取得。

項次	審查意見	執行說明與回覆
	單列出，由林務局或農委會接洽協助事宜。	
20	請解釋角反射器人工圈選備用點311 處，是全部需要亦或視情形佈建，是否有考量山區到達難度?請提供貴公司專業建議。	本計畫僅針對若需全省佈建，50km x 5km 影像中均須有有控制點進行規劃，若經費許可當然可以全面佈建，或依山區優先性先行佈建，抵達難度屬於施工經費問題，本規劃角反射器材料亦因應長途搬運需求採用航空級複合材料大幅降低運送負擔。
21	本計畫明年 6 月結案，7 月機載合成孔徑雷達試飛，在這之前的教育訓練如何安排?	將於第二次期中報告後開始安排教育訓練。
22	林務局農林航空測量所現行緊急災害應變流程分析仍有問題，請重新分析。	已修正相關說明，請參閱期末報告書第陸章第 20 頁。
23	有關轉場的需求請以空勤總隊有駐紮的機場來規劃，另轉場需求非常態，僅於母基地起降受天候或災害限制時方有需求，故網路傳輸系統是否有必要於各個起降機場規劃設置，若有必要，其建置經費需多少請一併提供建議。	轉場應變速度與每次處理拍攝面積是相關的，這一部分端賴需求的數量，增加硬體設備絕對可以提升應變的速度；但如果是常態性的拍攝任務，目前所內設備數量應可應付一年兩次資料蒐集處理的需求。若需各地規劃仍須以經費與使用量而定，不過以國內實體網路涵蓋量，各機場應均具備足夠的網路設備進行資料傳送。
24	若需轉場，東部機場的規劃以臺東機場較為適合。	會將委員意見納入期末報告建議事項中，為本國颱風侵襲均由花東地區登陸為主，將台東機場作為轉場備援，使用率將不會那麼高。
25	建議可進行試飛，以獲得一些飛機姿態資訊提供航線規劃參考。	請總隊安排飛行訓練。

三、第三次工作討論會議

項次	審查意見	執行說明與回覆
1	有關濾波處理係針對星載合成孔徑雷達影像進行測試，可否取得未來將引進之機載合成孔徑雷達影像進行測試，或以過去 Air SAR 影像進行濾波處理測試。	未來機載合成孔徑雷達影像恐無法取得，不過過去 NASA/JPL Air SAR 影像會在完成衛星影像分析後進行，不過因解析度關係不適合於本案中使用。
2	有關航線規劃部份，是否有研究報告提及如何進行最佳化，建議可蒐集相關文獻。	航線最佳化坊間文獻均無提及，目前僅能依據林務局農林航空測量所現行飛行規劃以及部分空軍教案進行規劃。
3	角反射器設置後是否需定期檢測位置位移情形並進行校正，或是可設置主動式的，例如裝設發射器以瞭解角反射器狀況。	角反射器需要定期檢測位置，不過此類定期檢測可以從影像匹配偏移中得到。此外，具瞭解，機載合成孔徑雷達硬體一案中有包含主動式雷達校正器一具，加裝發射器則是成本考量問題。
4	有關變異偵測部份，Amplitude difference 及雷達植被指數 RVI 在公式上差異不大，兩者有何差異。	強度差異法(AD)與雷達植被指數(RVI)公式有誤已修訂，AD 是分別對各別的極化影像作前後期強度差異計算，RVI 則是先做完 RVI 處理後的前後期影像相減。
5	在下次期中報告書中希望可以增加介紹偏極化對於地形、地物的效應、變異偵測的初步結果及緊急災害應變、林地災害的相關文獻蒐集。	已持續增加相關說明，請參閱期末報告書第陸章第 51 頁。
6	角反射器旋轉 45 度是否會有較強的反射訊號?	全向性角反射器於內凹處對應方向會產生最大反射信號。方位旋轉 45 度僅將最大信號方向改變。
7	目前航線規劃僅針對平時資料之蒐集，緊急災害應變時之航線尚未規劃，建議可依流域、集水區或歷史上易受災區域預先規劃緊急災害航	遵照辦理，已完成規劃，惟仍須建構在現有航線編號上。

項次	審查意見	執行說明與回覆
	線。	
8	角反射器的設計與設置需考量成本、形狀、如何固定、點位可達性、佈建難度、點位的檢測與校正，請貴公司費心規劃。	本計畫某些山區點位佈建難度相當高，不過經過詢問相關測量業務公司，只要經費許可，仍然會有廠商願意施作。
9	航線的規劃對於影像品質、解析力的影響為何?是否符合未來應用之需求，合成孔徑雷達硬體的品質與功能是否如預期，相關的飛航參數可先設計。	規劃航線主要是希望全台觀測都能達到無死角的目的，如此全台雷達影像鑲嵌品質也會提升。合成孔徑雷達硬體的部分則應屬合成孔徑雷達硬體承商的業務。
10	資料處理的部份可否高度自動化，人工介入愈少愈好，另誤差來源為何?精度如何評估?	目前合成孔徑雷達影像從接收到判釋均有自動化流程，人工可能僅止於虛擬應變中心的回報與判釋成果的檢查，合成孔徑雷達影像的精度亦屬於合成孔徑雷達系統報告的一部份，通常會放在每幅影像的詮釋資料裡。一般合成孔徑雷達影像出廠都會有建議標準值，可以以這個為基準，當標準值降低時就表示系統精度開始衰退。
11	山區 DEM 品質對於影像正射或變遷偵測有何影響，在資料處理上要如何因應?	影響相當大，DEM 品質不良會直接造成正射錯誤，在變遷偵測上，除正射錯誤會影響前後期影像匹配外，若需要作干涉處理，那錯誤的 DEM 將會使相位回覆時產生極大的誤差，由於目前不知道全台 DEM 品質不過除都會區變化較快需要一直更新高品質 DEM 外，其餘地區使用現有 40DEM 或 Alster 衛星的全球 DEM 仍可處理。
12	航線規劃之經緯度是否有必要精確到小數點下那麼多位數?	WGS84 經度一秒即代表約 30 公尺，若未來需進行重複軌道干涉雷達觀測，精確度到秒是有必要的。

項次	審查意見	執行說明與回覆
13	實務上來看，角反射器 1.5 公尺其反射強度是否足夠?材料之介電係數為何?考量重量及防風功能，網狀的角反射器是否可行?	1.5m 反射強度已足夠，相關說明請參閱期末報告書第陸章第 74 頁。
14	可否選擇幾個測試點，作為星載及機載合成孔徑雷達共用的控制點?	此部分尚在作業中，預計下次工作會議提出。
15	濾波及變遷偵測其先後順序為何?因其影響 Improved sigma filter 濾波方式之結果。	順序均為，後處理完畢->濾波處理->變遷偵測。
16	航線規劃何時可提供空勤總隊做為飛行訓練之用，建議至少於農曆年後可提供平地航線規劃供訓練用，包括飛航時之限制及容許誤差。	本次期中報告修訂後會一併提供，由於考慮飛航誤差，依循航測作業規範每條航線重疊率都有滿足需求，唯一要注意的就是重複軌道干涉觀測，希望兩次飛行能控制在 100m 誤差範圍內。
17	緊急應變規劃為何需 10 小時，上架、處理及判釋等應變時間又如何計算出來?為何崩塌地圖層調閱被刪除?	已修改相關說明，請參閱期末報告書第陸章第 28 頁。
18	角反射器佈建規劃何時可提出?其材質國外使用情形為何?所在位置機關請明確列出，電塔位置如何篩選?	相關說明將於第二期中報告書提出，請參閱第二次期中報告書第 2.5 節第 65 頁。於期末報告書中收錄於第陸章第四節。
19	所規劃的電腦硬體規格，由本計畫購買或由合成孔徑雷達硬體建置計畫購買。	據瞭解合成孔徑雷達硬體計畫本身已購置兩套伺服器，非由本計畫購買；後續若有大量處理需求，將由林務局農林航空測量所另行採購。
20	緊急應變上架之影像為濾波前或後之影像?	目前已知需求是濾波前影像以及判釋成果上架。
21	目前航線規劃是否仍需要 5 公尺解析度之 DEM，與 40 公尺解析度有何差異?	對於全台大部分非都市地區，40 公尺解析度 DEM 已經足夠進行疊置遮蔽分析。

四、第二次期中審查會議

項次	審查意見	執行說明與回覆
1	建議可在標準作業流程中或是在教育訓練時，加強說明合成孔徑雷達與光學航攝系統步驟上的差異，可使作業人員更加瞭解。	將在教育訓練時加入林務局農林航空測量所現行光學航攝方式討論。
2	本計畫所蒐集之參考文獻可否提供給林務局農林航空測量所參考。	相關參考文獻電子檔將隨本次修正報告書一併提交。
3	未來應變流程中估算的作業時間，與未來實際執行時是否會有落差，是否需要將可能延誤的時間加入，以供決策者參考。	大部分作業時間落差來源均屬人為因素，變因較不易控制，故僅提出固定可控制變因下的最佳狀況。
4	常態與緊急應變作業標準程序之參考文獻可否加入實際應用案例。	參考文獻中已有包含部分實際應用案例。
5	飛航規劃中重疊率的估算於陡峭山坡的情況下是否仍可達成。	以目前鄰接航線取像重疊率以及雷達系統入射角與飛行高度進行台灣地區合成孔徑雷達影像模擬，全台均可順利取像。
6	林地災害判釋中除了判釋的正確性外，幾何的正確性亦應注意。	幾何正確性如幾何糾正與正射化步驟，本即應屬於標準後處理流程中所需執行項目，災害判釋至少需架構在幾何糾正影像上進行匹配判釋的作業，幾何正確性是已經考慮進來的。
7	角反射器是否有實際進行耐候測試，例如耐火、熱、酸雨或強風測試，建議也不要有膠合材料在內。	角反射器建議採用之鋁蜂巢複合材，已大量應用於建築屋頂與外牆使用，耐候性十分優異，不須過度擔心。
8	合成孔徑雷達影像是否有作輻射校正，未說明清楚。	標準合成孔徑雷達影像處理程序是有進行輻射校正。
9	報告書中提及許多不同濾波器與變遷偵測方式的組合，對於不同地物	正如本報告中所提，對於都市城鎮地區災害，建議採用改善式 Sigma 濾波器

項次	審查意見	執行說明與回覆
	的判釋，其組合是否有所不同，請說明清楚。	進行濾波處理後，再作變異判釋。其餘地區不論崩塌或淹溢，仍以 Refined Lee 濾波器處理後再行判釋較佳。
10	不管是緊急災害應變規劃或是示範區判釋結論所做成的標準作業程序，建議與林務局農林航空測量所討論後再確定。	最後標準作業程序均會與林務局農林航空測量所討論後再行決定。
11	目前飛航規劃有南向北同向、北向南同向、南北異向及東西同異向等，其差異何在?未來採用哪一種或是同時採用?	同向飛行即表示相鄰航線對應地面拍攝區域涵蓋重疊率，異向飛行則為因應合成孔徑雷達側視雷達的特性，不同方向的觀測均會造成雷達影像上不同的回波，尤其是山區疊置與陰影的效應，單一拍攝角度往往會造成某些地區被遮蔽無法看到，當然透過多方向拍攝就可以避免掉遮蔽問題。惟多方向拍攝衍生的航線規劃比較複雜，因此僅建議在山區有嚴重遮蔽的地區才會執行多方向拍攝取像的業務。
12	角反射器佈建的位置及施作，是否涉及相關法令規範的問題，亦應預先準備。	目前法令並無針對角反射器有任何明確規範，角反射器佈建位置均以公有地規劃，非屬農委會管轄之公有地，亦可透過協調取得使用權。
13	緊急應變取像時間估算為 500 平方公里需飛行 1.5 小時，是否可以此基準估算拍攝全台所需時間為何?	可以，全台拍攝約在 100 小時左右。
14	未來緊急應變流程規劃分組與林務局農林航空測量所目前應變分組類似，可否參考林務局農林航空測量所緊急災害應變航遙測圖資處理機制進行規劃?	目前即有參考所內現有分組進行規劃，之後將繼續嘗試將兩者有效的整合。
15	目前航線規劃與容許範圍等資訊眾	機上有快視影像產出，惟約有 10 秒時

項次	審查意見	執行說明與回覆
	多，可否提供一簡單的基準讓作業人員於飛機上即可了解需重拍或地面的後處理可彌補?	間差，對於有經驗的操作員而言應可即時判斷拍攝結果。若進行干涉雷達拍攝，則無法立即由飛機上知道任何資訊。
16	目前航線規劃主要分南北向及中央山脈的偏 5 度飛行，其實 5 度的差異很小，是否考慮全部偏 5 度或全部南北向，以利實際執行作業。	本計畫仍希望山區已不同方位角方向飛行，若實際飛行面仍有困難，全部南北向飛行仍是可以接受的。
17	機場規劃建議加入台東及台南，澎湖可以去除。	已修正,請參閱期末報告書第陸章第 23 頁。
18	教育訓練的時程安排與參與人員請先排定，提供給林務局農林航空測量所預先安排。	將盡速與林務局農林航空測量所討論。
19	報告書內容部份修訂： (一) 影像處理與產出時間未說明是星載或是機載影像。 (二) P6 表 1.3-1 完成 1-6 項，但內文寫 1-5 項。 (三) 報告書全篇僅有二個章節，建議可將架構重組，依計畫說明、雷達技術、林地災害、緊急應變流程、參考文獻等重新安排。 (四) 圖 2.3-2、2.3-3 建議加入影像資訊以利讀者了解。 (五) P44 圖 2.3-6 repeat 11km 是否有誤。 (六) P45 “可達八類的分類影像”，可否介紹此八類影像。 (七) VI、RVI、RVID 等變異偵測的方式可介紹一下，並說明其背	謬誤依建議修訂，架構部分將在期末報告重新編排。 (一) 因目前所內機載 SAR 採購案尚在執行中，故國內目前並無機載 SAR 資料可供處理，因此影像處理是以星載影像為例，影像產出為模擬機載影像處理時間。 (二) 已修正相關文字說明，請參閱期末報告書第捌章 83 頁。 (三) 已修改文章架構，請參閱期末報告書目錄。 (四) 已置換圖片，請參閱期末報告書第陸章 51 頁。 (五) 此圖正確無誤。 (六) 已增加相關說明，請參閱期末報告書第陸章 48 頁。 (七) 已增加相關說明，請參閱期末報告書第陸章 63 頁。

項次	審查意見	執行說明與回覆
	後所代表的意義。 (八) P46 圖 2.3-7 圖說太簡單，其他有些圖亦有類似問題；P29 圖 2.2-1 仍錯誤，請修正。 (九) P20-21 究竟是 DTM 還是數值地形(DEM)，地形壓縮(foreshortening)還是前坡縮短，請統一。 (十) 參考文獻有些混亂，建議不要用數字代替，格式也請統一。 (十一) 甘特圖建議可畫二個長條，一個是預計執行進度，另一個是實際執行進度。 (十二) 有關各次工作會議及審查會議的回覆，有部分回答不妥，例如 P8 第 12 項測製規範說明及 P17 第 21 項 DEM 的說明；有部分未完全回覆，若已於各次報告中改進亦請於回覆中說明改進的內容或報告書中相關的位置；回覆中所承諾的事項需確實完成。 (十三) 報告書用詞請統一，如計畫或專案，星載或星載，錯、漏字、重複、圖表與內文不符等請一併改正，圖可用彩色印刷。	(八) 已修改此圖說，請參閱期末報告書第陸章 47 頁圖 6-21 及 20 頁圖 6-2。 (九) 已修改為 DEM 及前坡縮短，請參閱期末報告書第陸章 15 頁。 (十) 已修正文獻編號，請參閱期末報告書。 (十一) 已修正，請參閱期末報告書第捌章 83 頁。 (十二) 遵照辦理。 (十三) 遵照辦理。

五、期末審查會議

項次	審查意見	執行說明與回覆
1	有關期初建議之機載 SAR 相關文獻蒐集未於期末報告中呈現。	因編排方式，原報告書中針對各項工作，如合成孔徑雷達影像產品、合成孔徑雷達影像處理與作業程序、特徵判釋及全台角反射器佈建等，均分散敘述於第陸章各節開頭。相關重要文獻，請參閱成果報告書附錄五
2	建議將本案判釋所用的所有雷達影像製表列出其相關資訊。	請參閱成果報告書第陸章第 51 頁與第 52 頁。
3	期末報告最後可增加二個方向的建議，一為給林務局農林航空測量所的建議，如何做才可以讓機載 SAR 計畫做得更好，另一為給上級長官及決策者的建議，現在做不到的事情或欠缺的資源，需要上級長官支持的部分。	修正於成果報告書第柒章第 86 至 88 頁。
4	P27 緊急災害應變分析圖中影像成像處理與幾何糾正部分所需時間從 45 分鐘至 180 分鐘，可否縮短其時程，辦法為何。	若能採用個人電腦平行處理或是超級電腦進行多工成像處理，將可再大幅降低產品產出時間，快速提供災區影像與判釋成果。
5	P61-67 建議量化其差異性，並增加討論的部分。	報告書中針對植被及裸露地的峰值對比度，皆有量化成果，HH 偏極為 1.12，HV 偏極為 1.26，RVI 則為 1.42，由此可見，RVI 所判釋的對比較最高，最適合做為裸露地/崩塌地判釋應用。
6	角反射器佈建規劃中有 302 個點位於三角點，其架設位置是否會影響到其他單位測量作業的進行。	角反射器的建置，主要目的在於提供合成孔徑雷達幾何校正，故佈建規劃是參考三角點佈設，再進行空間分佈的初步篩選。架設時，並非直接架設在三角點上，可架設於三角點旁，並予以紀錄架

項次	審查意見	執行說明與回覆
		設坐標即可。
7	角反射器佈建所需經費龐大，是否可研議整合各研究單位、學校等單位協助，提供研究成果、人力或位置，以減少數量並降低成本。	目前平地區域可沿用部分已知反射源，但山區缺乏強反射源，因以海拔高度高於 500 公尺以上與距離道路 200 公尺以上為優先建置。而是否需要研議整合各研究單位、學校等單位協助，應由委辦單位另案統籌處理。
8	角反射器設置費用之評估，若以距道路 200 公尺以上的距離來評估，是否會有落差。	角反射器設置費用評估，應需一併考慮角反射器運送的時間、人力與經費 (平地至山區)，若僅以點位距離道路遠近評估，並不恰當。
9	角反射器建置之金額龐大，可否事先檢視哪些位置可能缺乏強反射源，可先行建置，之後再視執行情形逐步增加。	目前平地區域可沿用部分已知反射源，但山區缺乏強反射源，如以必要建置程度，因以海拔高度高於 500 公尺以上與距離道路 200 公尺以上為優先建置。
10	本案各項標準作業流程所需硬體由機載 SAR 採購案所購置，但是否有規劃每一作業流程分別由哪一伺服器處理。	標準作業流程所需硬體由機載 SAR 採購案所購置，因此每一作業流程所需硬體支援，應由機載 SAR 採購案訂定，不在本計畫中探討。
11	本案三個標準作業程序中僅有緊急災害應變標準作業程序有繪製流程圖，請補足另二個作業程序(影像處理及判釋作業)之流程圖。	已修訂於成果報告書第陸章第 9、53 與 54 頁圖 6-1、6-32 及 6-33 所示。
12	P25 圖 6-4 中轉場及夜航需求需與空勤總隊協調聯繫，應放置在前置作業而非決議後之執行事項。	已修訂於成果報告書第陸章第 18 與 23 頁圖 6-4 及 6-5 所示。
13	緊急災害所用之資料庫與一般資料庫應分開探討。	本報告書有說明緊急災害使用的對外資料庫是以實體與一般倉儲資料庫分隔的。

項次	審查意見	執行說明與回覆
14	請檢視期末報告後各次審查會議及工作會議審查意見之執行說明與回覆，與報告內容是否相符，並註明修正之頁數或章節。	已修正，請參閱成果報告書。
15	本案許多作業程序、航線或角反射器等資訊均以現有之資源進行規劃，受種種因素之限制，或許並非最佳之規劃，貴公司可提供未來如何做可得較佳成果之建議。	若影像處理作業有人力調配問題，可採取外包方式執行。航線部分受限飛機形式在航高、速度以及穩定度均較噴射機體為低，若能更新飛機為噴射機體，則整體系統表現可以更優異。角反射器若因為經費與後續維護與遭竊問題，可先行調查山區人工建物散射點，已無人工建物散射點的地區再先行佈建。
16	本案相關教育訓練影像處理的部分均以衛載 SAR 影像為材料，且為 X 波段，與未來機載 SAR 之 L 波段不管在載具或解析度上均不相同，未來在影像處理的部分是否會有不同，因此教育訓練可否以 AirSAR 為材料。	AirSAR 資料雖為 L 波段但解析度與未來機載 SAR 系統差異太大，在特徵判釋與後處理程序上不易凸顯高解析度 SAR 系統影像處理程序的困難度。故仍建議維持現有教材。
17	教育訓練的部分建議可錄影或錄製螢幕操作畫面，供未來新進人員參考；教育訓練手冊應製作完整，以利本所人員訓練與傳承。	由於教育訓練課程結合理論說明與時機操作，直接錄製上課情形易造成影片時間攏長；僅錄製畫面，則細節說明則無法呈現，因此本工作團對將以錄製投影片操作步驟，並以文件重點說明提供，以利人員後續訓練與傳承。
18	教育訓練課程應儘量以愈多人員可參與為前提來規劃，若時間許可，可否提供二梯次訓練，以利人員調度。	本工作團隊除了執行計畫外，亦非常樂意協助本計畫技術傳承與教育；因此此次教育訓練課程接受委員建議，將規劃兩梯次課程。
19	報告書內容部份修訂： (一) P33-34 Ranger 錯誤，應為	(一) 已修正，請參閱成果報告書第陸章第 31 至 33 頁圖 6-12 至 6-15 所

項次	審查意見	執行說明與回覆
	Range。 (二) P45 圖 6-20 圖說可改二軌跡法；P46 圖 6-21 標示符號是否有誤。 (三) P45 圖 6-22 及 23 looking direction 是否相反。 (四) P50 圖表中文化。 (五) P74 數位高程是否可改成數值高程。 (六) P45 “可達八類的分類影像”，可否介紹此八類影像。 (七) P10 影像產品共 4 類，但下面說明寫前兩類及後三類是否有誤。 (八) 其餘錯誤部分請參考蔡委員紙本修正部分。	示。 (二) 已修改圖說；請參閱成果報告書第陸章第 45 頁圖 6-24 所示。 (三) 已修正圖說，請參閱成果報告書第陸章第 48 及 49 頁圖 6-27 及 6-28 所示。 (四) 已修改圖說為中文化，請參閱成果報告書第陸章第 51 及 52 頁圖 6-30 及 6-31 所示。 (五) 已修改說明，請參閱成果報告書第陸章第 80 頁所示。 (六) 已增加相關說明，請參閱成果報告書第陸章第 47 頁所示。 (七) 已修改部分說明，請參閱成果報告書第陸章第 5 頁所示。 (八) 已參考修訂。

附錄二、林務局農林航空測量所訪談紀錄表

訪談課室	資料課	訪談時間	2012/9/25（三） 14:00
參與同仁			
討論主題	一、課室基本資訊 二、SAR 處理流程 三、緊急應變機制		

一、課室基本資訊

1　貴課室的主要業務為何？

2　您是否知道 SAR 的資料對貴課室業務是否有幫助？

3　您現在業務中，覺得最辛苦的地方是什麼？

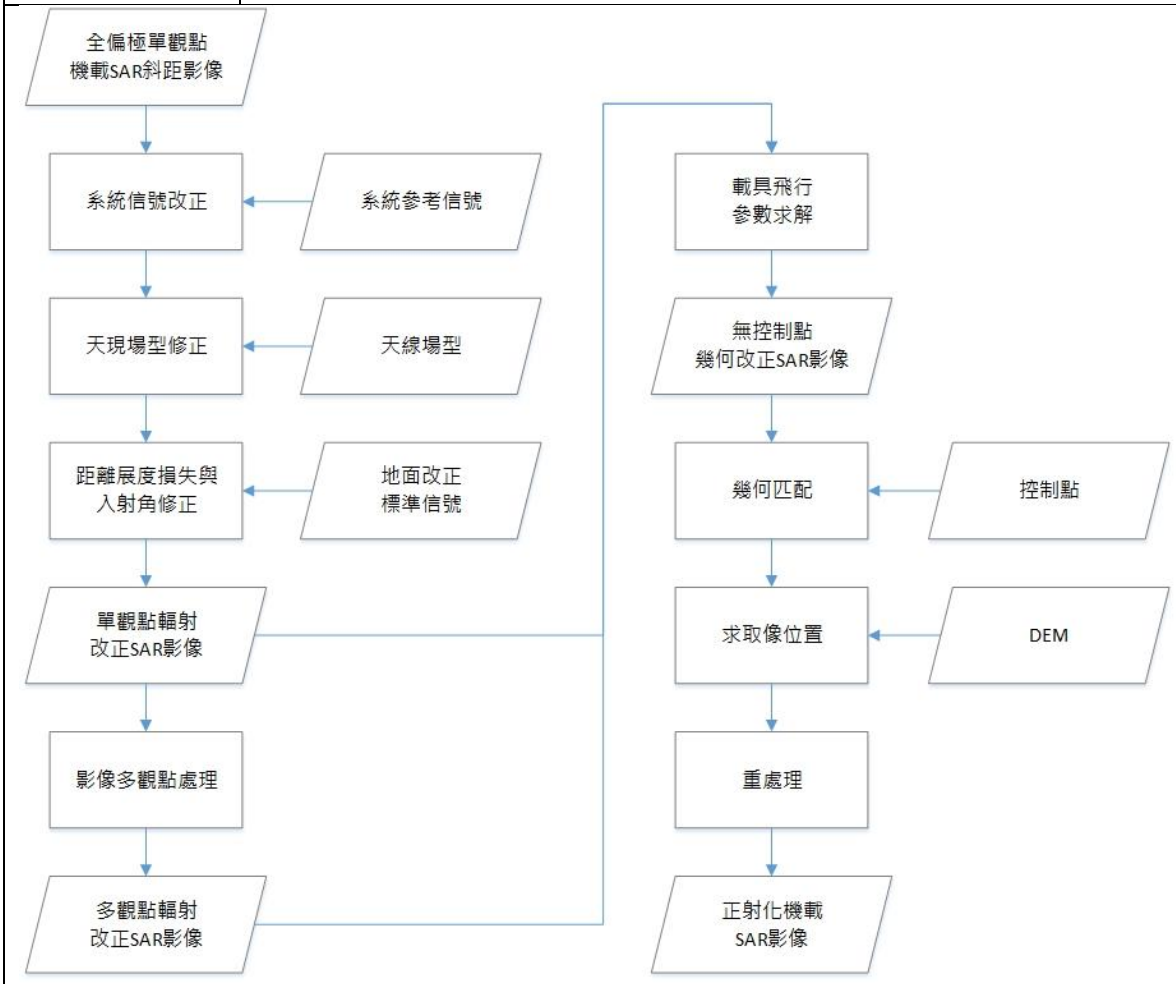
二、SAR 處理流程

1　您是否了解未來 SAR 產品種類？

產品 / 模式	航跡拍攝	航跡快視
1.單觀點低解析力 SAR 單偏極影像		●(振幅)
2.單觀點複數 SAR 單/全偏極影像	●	
3.單觀點輻射校正複數 SAR 單/全偏極影像	●	
4.多觀點低解析力 SAR 單偏極影像		●(振幅)
5.多觀點 SAR 單/全偏極影像	●	
6.多觀點輻射糾正 SAR 單/全偏極影像	●	
7.無控制點幾何糾正 SAR 影像	●	●(振幅)
8.正射化全偏極 SAR 影像	●	

2　您是否了解未來 SAR 後處理流程與光學影像處理流程的差異

訪談課室	資料課	訪談時間	2012/9/25（三） 14:00
參與同仁			
討論主題	一、課室基本資訊 二、SAR 處理流程 三、緊急應變機制		



3　你是否接觸過影像濾波與融合?

三、緊急應變機制

1　您是否了解未來 SAR 將負責緊急拍攝任務?

2　您是否參與過所內緊急應變?

3　您是否了解航路規劃?

4　您是否進行過變遷分析偵測?

附錄三、名詞解釋

名詞	說明
Level 1.0 產品	原始接收 SAR 影像資料
Level 1.1 產品	完成斜距向成像的 SAR 產品
Level 1.5 產品	完成斜距向與方位向成像的 SAR 產品
Level 2A 產品	SAR 影像經過輻射校正與無控制點幾何校正處理產品
Level 3 產品	正射化 SAR 影像產品
疊置效應	由於 SAR 系統為側視雷達，雷達回波是根據雷達信號打到目標物後反射回來的時間記錄距離與強度，在靠近載具的近距入射角較小，若此時雷達打到地面距離稍微遠處的較高高程返回雷達的時間與近處打到較低高程所返回雷達的時間一致，那雷達會判斷這兩的點是重疊在一起，若較遠處高程變化過大甚至會成像在地面近處回波信號之前。這需要透過正射化的方式將這些效應拉回正確的位置。
二值圖	將影像依特定門檻值記錄成僅具備 0 與 1 二位元變化的影像，這種圖通常用來進行判釋與選取特定目標物。

附錄四、國際機載合成孔徑雷達系統

世界上較著名之機載(飛機)雷達系統如下表 A 所示，大部分之系統皆具有多波段、全偏極、干涉雷達等複合模式，可廣泛應用於資源監測及地形繪製等工作。

表 A、全球著名之機載雷達系統列表

系統名稱	載具	單位	系統功能	主要應用
SAR-580	Convair 580	CCRS	C-band 多偏極 X-band 多偏極	農業、森林、地質
Intermap Aes-1（STAR-3i）	Learjet 36A	Intermap Technologies	X-band HH 偏極 最高解析度達 1.25 公尺 × 1.25 公尺	數位地形繪製
Intermap Aes-1（AeroCommander）	AeroCommander 690-1000	Intermap Technologies	X-band HH 偏極 最高解析度達 0.5 公尺× 0.5 公尺 P-band 多偏極系統	數位地形繪製 森林
DLR-ESAR	Messflugzeug Do 288	DLR	X-band 單偏極 C-band 單偏極 S-band 全偏極 L-band 全偏極 P-band 全偏極	數位地形繪製 農業、森林
ONERA DEMR RAMSES	Transall C160	ONERA DEMR	W-band LR,LL 偏極 Ka-band VV 偏極 Ku-band 全偏極 X-band 全偏極 C-band 全偏極 S-band 全偏極 L-band 全偏極 P-band 全偏極	農作物分類、森林材積估算、數位地形繪製及軍事
NASDA PI-SAR	Gulf Stream II	NASDA	L-band 多偏極 X-band 多偏極	數位地形繪製、地表覆蓋物分類

Ingara	Beach 1900C	Radarscan the Defence Science and Technology Organisation（DSTO）, Australia	X-band 全偏極	流速監測、數位地形繪製、地表覆蓋物分類
NASA/JPL AIRSAR	DC-8	NASA/JPL	C-band 全偏極 L-band 全偏極 P-band 全偏極	流速監測、數位地形繪製、地表覆蓋物分類

CCRS SAR-580

為加拿大遙測中心（Canada Centre for Remote Sensing, CCRS）所建置，目前由 Environment Canada 負責運作。SAR-580 是架構在 Convair-580 飛機上，係由 MacDonald Dettwiler and Associated Ltd.所設計製造，它具有 C 波段及 X 波段兩種波長，可獲取多偏極影像資料。SAR-580 主要的應用在於農業、森林及地質等，主要可用於干涉雷達研究及多偏極雷達研究，亦常支援國際性之研究合作等。

Intermap/ Aes-1

Intermap Technologies 公司的 Intermap Aes-1 擁有兩組雷達系統，一為架設在 Learjet 36A 飛機，如圖 8 所示，其酬載 STAR-3i 系統，該系統為 X 波段 HH 偏極雷達系統，主要的功能在於利用干涉雷達技術進行數位地形模型（DTM）繪製，其解析度可達 1.25 公尺。另一組系統為架設在 Aero Commander 680-1000 型飛機上的 Aeor Commander 雷達系統，具有 X 與 P 波段兩組系統；其中，X 波段為單偏極系統（HH 偏極），解析度可達 0.5 公尺，而高度精度達 50 公分；另外 P 波段為 HH、HV、VV、VH 多偏極系統，解析度可達 2.5 公尺，高度精度達 1 公尺，兩個波段（X、P 波段）交互應用可獲得數位地形模型（DTM）及數位表面模型（DSM）等兩類不同之地表高程資訊。Intermap Technologies 曾於 92 年十一月取得美國 NEXTMap USA 計畫中於密西西比州（Mississippi State）之數位地形圖繪製合約，及加州（California State）、內華達州（Nevada State）及西維吉尼亞州（West Virginia State）等州的計畫申請。

由此可見該系統之性能及精度是受到肯定的。

DLR-ESAR

德國航太中心（DLR）之 ESAR 系統具有優異的系統調整性，擁有 X、C、S、L、P 波段，其中 S、L、及 P 波段具有全偏極功能，除了可進行地表覆蓋物分類等應用外，更可以利用全偏極資訊進行干涉應用；X、C 波段為單偏極系統，其中 X 波段具有干涉雷達地形圖繪製及流速監測等功能。該系統能進行雙天線模式干涉雷達的波段為 X 及 S 波段，能用於繪製數位地形；另外，X 波段及 L 波段則具有沿跡干涉之功能，能用於流速監測。由以上所述得知，DLR 的 ESAR 雷達系統為一種功能強大之機載合成孔徑雷達系統，不僅能進行地表覆蓋物分類監測、數位地形模型繪製、流速監測等應用，更可利用不同波段之干涉雷達，繪出作物或植被的高度。

ONERA DEMR/ RAMSES

RAMSES 為法國 ONERA 公司 DEMR 部門（Department of Electromagnetic and Radar, DEMR)的機載雷達系統，是架構在 Transall C160 飛機。該系統具有相當豐富的波長，共有 W、Ka、Ku、X、C、S、L 與 P 等 8 種波段，其中 Ku、X、C、S、L 與 P 等波段更具有全偏極功能；而 Ka、Ku、X 等波段，其解析度更高達 13 公分，是目前所有機載系統中解析度最高的一種。當雷達系統使用的波段不同，地表物反應亦隨之改變，能更進一步解析地表物。因此，RAMSES 可應用於農作物分類、森林材積估算、數位地形繪製及軍事等多種用途。

NASDA/ PI-SAR

PI-SAR 為日本宇宙開發事業團（NASDA）的機載合成孔徑雷達系統，是架構在 Gulf Stream II 飛機上，其使用的波長為 X 波段及 L 波段，是一多偏極雷達系統(HH、HV、VV、VH 偏極)，可進行雙天線模式干涉雷達應用，如數位地形繪製。PI-SAR 雖為一多偏極雷達系統，能進行地表覆蓋物分類等應用，但其能力仍不如全偏極系統。

Ingara/AuSAR

Ingara/AuSAR 為澳洲 RadarScan 及 DSTO (The Defence Science and Technology Organisation, DSTO）共同開發之雷達系統，該系統使用的波長為 X 波段，影像最佳的解析度可達 1 公尺。此外，Ingara/AuSA 具有以下功能: (1)全偏極功能，可進行精細之地表物分類；(2)沿跡干涉雷達功能，能使用進行流速監測或是慢速目標物監測等應用；(3)干涉雷達功能，可繪製數位地形模型。

NASA/JPL AIRSAR

美國太空總署噴射推進實驗室（Jet Propulsion Laboratory, NASA, NASA/JPL）開發的機載雷達系統—AIRSAR，架構在一架 DC-8 機型的飛機上。其中，AIRSAR 系統又可分為 POLSAR 及 TOPSAR 兩種，POLSAR 為 C、L、P 三波段全偏極雷達系統(polarimetric SAR)，而 TOPSAR 為干涉(interferometric SAR, INSAR)及全偏極複合式雷達系統。在 POLSAR 模式中，可提供 C、L、P 三波段全偏極資料；TOPSAR 模式中則可提供 L、P 兩波段全偏極資料及 C 波段干涉雷達資料，或是 P 波段全偏極資料與 C、L 兩波段干涉雷達資料等。另外，此系統亦具有沿跡干涉雷達能力，可進行地表覆蓋物分類、數位地形繪製、流速監測等應用。

針對台灣坡地災害災後即時觀測之需求，就現有國內外星載與機載雷達觀測系統之影像拍攝、規格、費用、服務方式等機制及應用範圍進行優劣分析與可行性評估，嘗試建立未來台灣取得全天候雷達影像之機制。

由於機載雷達系統受限於飛行器航程與觀測跨幅，因此所有觀測任務均須於所在地進行，除非所在地或所屬國已擁有機載雷達系統，不然無法利用機載雷達系統進行災後即時觀測，本國目前尚無機載雷達系統可供服務。也正由於機載雷達系統地區性的限制，若要進行非在地或所屬國的雷達遙測任務則均需包含完整國際航線設定，駕駛與操作人員出入境，國內拍攝區域選擇，空域管制協調，現地調查等全面性規劃，通常整體作業規劃時程可達六個月到兩年不等，就算已與海外機載雷達系統所屬單位簽訂合約，在臨時性災害發生時依然必須確認對方機載系統是否可出勤以及

抵達時間，仍無法執行即時觀測任務。在費用部分由於非國內的機載遙測影像拍攝均屬於整體任務規劃性質，並不提供單幅影像販售，若以整體計畫經費來計算，民國 94 年 Intermap 公司受託來台灣進行南部縣市雷達影像及數位地形圖建置滯台期一周簽約金額超過新台幣 2100 萬元。

附錄五、相關文獻

請參閱成果報告書電子檔附件。