

## [ 研究成果報導 ]

## 福爾摩沙二號衛星遙測影像自動處理與應用

成功大學地球科學系衛星資訊暨地球環境研究所 劉正千

## 一、福爾摩沙二號衛星簡介

耗資 46 億台幣，歷時五年，由台灣自主控制的第一枚高空間解析度遙測衛星—福爾摩沙二號（福衛二號）終於在 2004 年 5 月 21 日成功發射升空運轉。福衛二號可以獲取地面 2 公尺解析度的全色態影像以及 8 公尺解析度的多頻譜影像(包含紅、藍、綠與近紅外波段)，每幅影像刈幅可達 24 公里；其所配備的姿態控制裝置更允許福衛二號在沿軌道與垂直軌道的兩個軸向上各進行±45 度的指向角度調整；再加上兼具太陽同步與地球同步軌道的創新設計，使福衛二號成為全世界第一枚以日再訪軌道運行的高空間分辨率衛星，是進行定點監控的理想衛星[1]。福衛二號的主要遙測任務為災害評估、環境監控、土地利用變遷、農林規劃以及科學研究與教育。總計三年多來，福衛二號已拍攝了高達三億九千多萬平方公里的面積，換算為全球陸地總面積的兩倍有餘。不僅為台灣地區提供了前所未有、數量龐大的高品質衛星遙測影像，更企盼能帶動國內遙測技術之開發及提昇遙測應用之層級。本文旨在介紹過去幾年來針對福衛二號影像特性所開發的一套「福衛二號影像自動處理系統」(Formosat-2 Automatic Image Processing System, F-2 AIPS) [1]，以及實際應用這套系統於前述福衛二號五大遙測任務之成果。

## 二、福衛二號影像自動處理系統

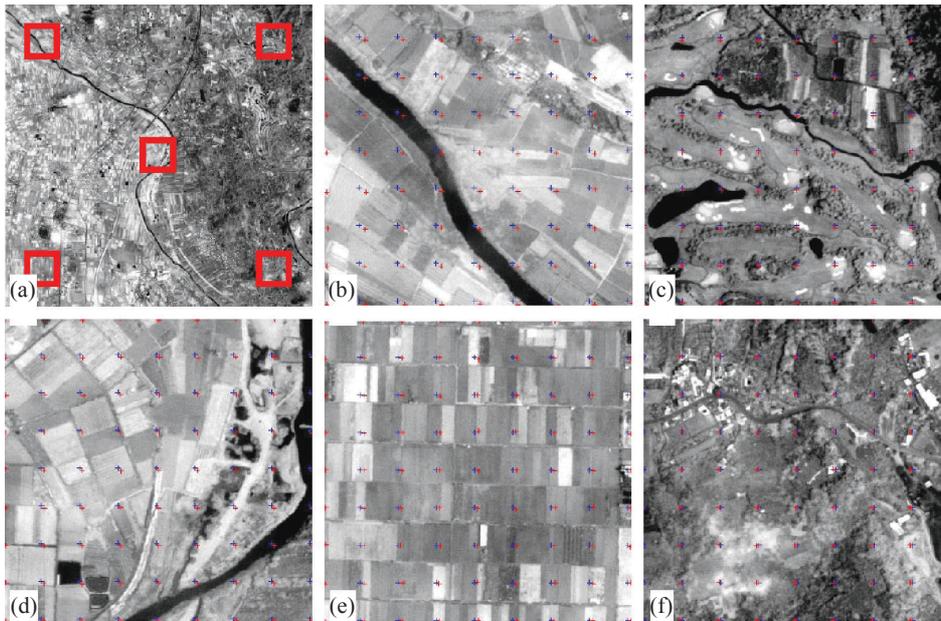
發揮福衛二號影像特性與達成福衛二號任務需求之成功關鍵在於能夠準確且快速地處理大量的福衛二號遙測影像。若依賴一般人工處理，不僅耗時費事、時效不彰，所引入的人為誤差，亦將大大影響影像分析的準確度。尤其是福衛二號遙測元件線型陣列之排放設計與多自由度的取像方式，每一個 CCD 陣列在拍攝時是藉

由循序推掃的方式成像，對同一地面點的成像在時間上有所延遲而非同時擷取，因此造成福衛二號影像上肉眼可辨的全色態對多頻譜影像對位誤差以及多頻譜影像各波段間的對位誤差。如果再考慮到地球自轉的效應以及衛星軌道的不穩定性，大角度所拍攝的影像其錯位現象將更為嚴重。如果未能嚴謹地修正錯位問題，勢必嚴重影響融合影像的品質。

國家太空中心為推廣福衛二號影像之應用，開發了福衛二號影像處理終端系統 (Formosat-2 Terminal, F-2 T)[2, 3]。唯 F-2 T 目前僅能將原始影像處理至 level-1A 及 level-2 之初級產品，無法產製更高階之影像產品，亦無法解決全色態與多頻譜影像之間的錯位問題。本研究所發展之 F-2 AIPS 乃是以 F-2 T 所產製之 level-1A 影像為基礎，不僅可以進行嚴密的錯位修正，更可以自動完成正射糾正、多期影像幾何配準與輻亮度正規化處理、以及彩色融合處理，產製高階影像產品。以下介紹 F-2 AIPS 之各項功能。

## 1. 全色態與多頻譜影像之錯位修正

F-2 AIPS 是以全色態影像為基底影像，每隔 50 個像元以 51×51 個像元大小作計算視窗 (calculation window)，對應到多頻譜影像同一像元周圍 91×91 個像元大小為搜尋視窗 (search window)，考慮色彩模型轉換及能量平衡處理，應用快速正規化相關匹配 (Fast Normalize Cross Coefficient, FNCC) 的方法自動找到最大相關匹配的相對位置，產生大量相關係數達 0.5 以上的控制點，再利用這些控制點所建立的多項式映射關係濾除可疑的控制區，便可使用這些數量龐大且品質良好的控制點將多頻譜影像對全色態影像進行錯位修正。圖一顯示了福衛二號全色態與多頻譜影像間不均匀錯位現象與應用 FNCC 技術計算之修正量空間分佈關係。



圖一 福衛二號全色態與多頻譜影像間不均勻錯位現象與應用 FNCC 技術計算之修正量空間分佈關係。(a)全色態影像，(b)左上區域往右下錯位，(c)右上區域往下錯位，(d)中央區域往右下錯位，(e)左下區域往右錯位，(f)右下區域往左錯位

## 2. 自動正射糾正處理

遙測影像可以藉由點配影像中足夠數量的地面控制點座標，輔以衛星拍攝姿態參數以及數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)等資料進行嚴密的正射糾正以產製正射影像，提供準確的空間座標。然而一般以人工點配控制點之作法，不僅耗時費事、時效不彰，亦無可避免地引入不同程度的人為誤差。F-2 AIPS 使用其他航空或衛星平台所產製之正射影像為基底影像，先在基底影像上利用空間特徵，自動圈繪出不隨時間改變之大量控制區，例如房子、道路交叉口及明顯地標地物等，並利用 FNCC 的技術在福衛二號 Level-1A 影像上，自動搜尋與這些控制區達到最大相關匹配的相對位置空間座標。再將大量控制區座標輸入 ERDAS IMAGE© 8.7 的 LeicaPhotogrammetry Suite©系統，並輔以衛星拍攝姿態及數值地形模型等資料，即可建立一組空間映射轉換關係，藉以濾除所有匹配不佳的控制區，即可由 Level-1A 影像直接產製正射影像。圖二為自動產製福衛二號正射影像之實例。

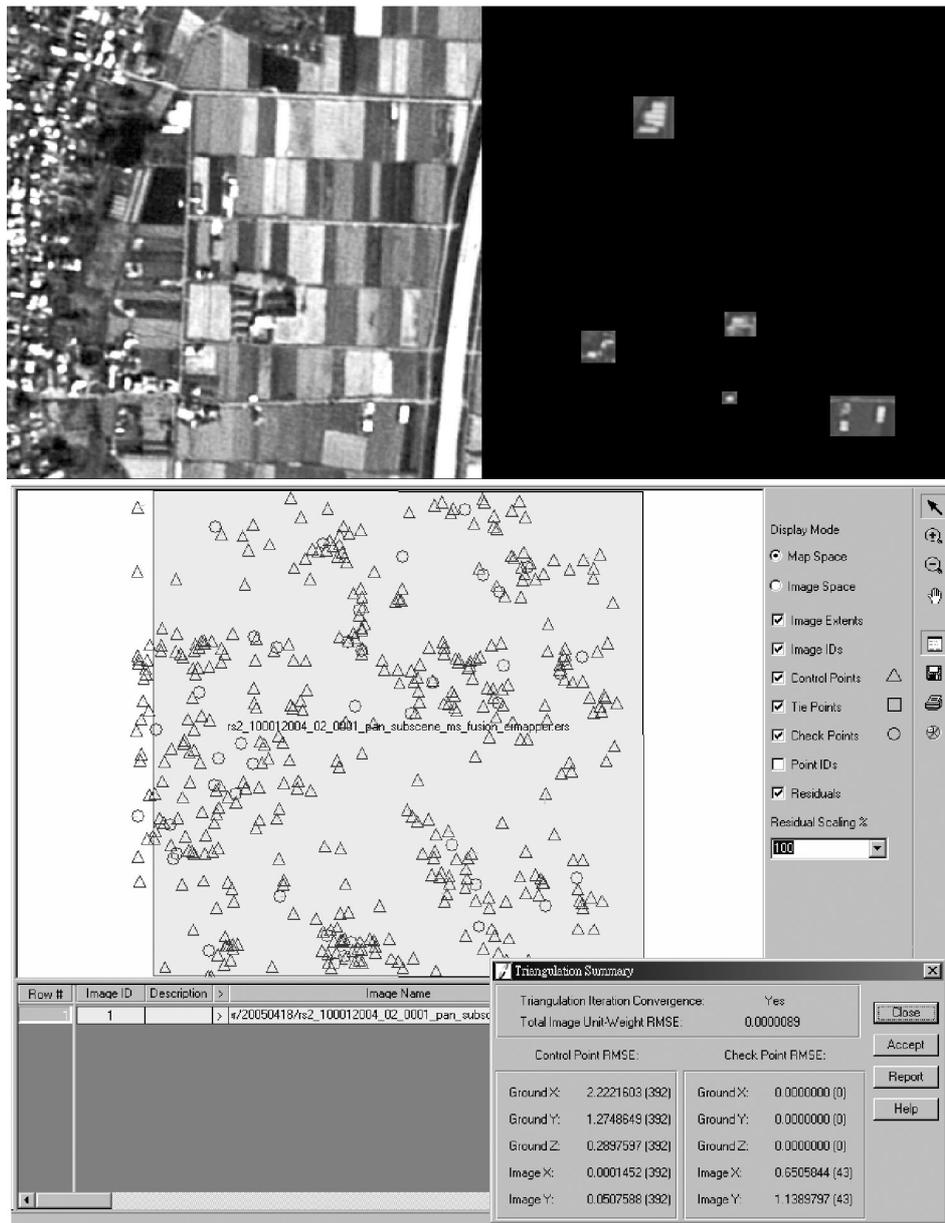
## 3. 多期影像幾何配準處理

達成像元級(pixel-level)精度之變異分析端賴於精確之多期影像幾何配準處理[4]。若直接對

已完成嚴密正射糾正之多期影像進行變異分析，會有相當程度的變異是來自於多期影像空間定位上的誤差[5]。由於福衛二號特殊的日再訪軌道設計能夠每日於同時間對同地點以同角度進行觀測，所拍攝的多時期影像間相關性非常高，地表上幾何變形與陰影的分布情況亦非常相似，因此可以再次利用 FNCC 技術對福衛二號多時期影像進行準確且快速的幾何配準處理[1]。應用 F-2 AIPS 對多期影像進行幾何配準處理的實例可參見文獻[1]。

## 4. 多期影像輻亮度正規化處理

達成像元級(pixel-level)精度變異分析之另一項重要條件是多期影像間之輻亮度正規化處理[6]。Schroeder 等人[7]比較了包括絕對與相對輻射[6, 8, 9]校正等共六種方法之後，發現對多期影像而言，相對輻射校正所得的結果較為一致。F-2 AIPS 是採用 Du 等人[6]所提出的方法，使用主成分分析法配合品質控制的條件設定，自動從多期影像中決定擬恆定物體(pseudo invariant features, PIFs)之空間位置。再由這些 PIFs 建立線性轉換關係，進而完成多期影像輻亮度正規化之處理。圖三為多期福衛二號影像輻亮度正規化處理之實例。



圖二 F-2 AIPS 產製正射影像之實例。(a)基底影像之部分區域放大圖，(b)在基底影像所選定的控制區，及(c)正射糾正後控制點與檢核點空間分佈、誤差向量與統計



圖三 F-2 AIPS 多期影像輻亮度正規化處理之實例。(a)基底影像(93/12/17)；(b)輻射校正前影像(94/4/18)；(c)輻射校正後影像(94/4/18) (所有影像 DN 值均未增場)



圖四 F-2 AIPS SSIM 彩色融合處理之實例。(a) 8 米解析度自然色影像(94/4/18)；(b) 2 米解析度 SSIM 彩色融合影像(94/4/18)

## 5. 彩色融合處理

可將低空間分辨率的多頻譜資訊結合全色態影像高空間分辨率的影像融合處理，其重要考量之一就是光譜資訊的保存。一般商用影像處理軟體內建的一般影像融合模組，例如 HSI 轉換[10]或是 Brovey 轉換[11]等方法，都無可避免地造成原始影像光譜特徵的失真。福衛二號多頻譜影像的光譜涵蓋範圍大致與高解析度的全色態影像重合，因此得以應用光譜總和強度調適法 (Spectral Summation Intensity Modulation, SSIM) 方法來進行影像融合處理[12]。不僅能夠增進影像的空間細節，同時又能保存原有頻譜的特性。圖四為 SSIM 彩色融合處理之實例。

## 三、福衛二號影像應用實例

藉由本研究所開發之 F-2 AIPS，運用少量人力即可準確且快速地處理大量的福衛二號遙測影像，因此可以真正發揮福衛二號影像之特性，達成福衛二號遙測任務之需求。以下分就災害評估、環境監控、土地利用變遷、農林規劃以及科學研究與教育等應用實例分別加以說明。

### 1. 災害評估

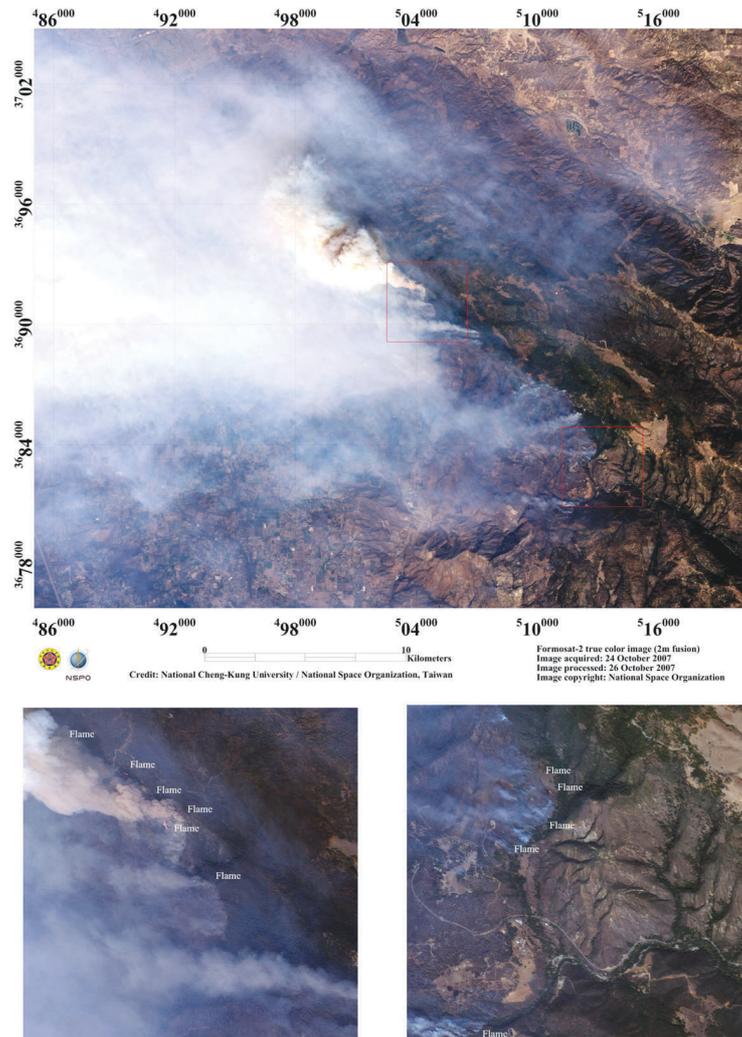
2004 年 12 月 26 日上午印尼蘇門答臘外海發生芮氏地震儀九級以上的強烈地震，觸發了嚴重的海嘯，數小時內便侵襲了環印度洋許多國家，其中包括了數處世界著名的觀光勝地，總計

造成了 55 個國家，超過 30 萬人不幸喪生的慘劇。國家太空中心於地震發生後第二天便開始連續取像，成功大學團隊對福衛二號於災區所拍攝的遙測影像立刻加以分析，進行災害評估，並提供國際人道救援之用。此項研究成果可參見文獻 [12]。

2007 年 10 月 20 日至 11 月 9 日之間，美國南加州發生大規模的山林大火事件，受到北方沙漠吹來乾燥而強烈的聖答安娜焚風影響，火勢一發不可收拾。總計共有 1,500 間房屋被焚燬，延燒面積超過 2,000 平方公里，14 人因大火直接喪命，70 人受輕重傷。國家太空中心從 10 月 23 日起連續對災區進行取像。本研究應用所發展之 F-2 AIPS 協助處理福衛二號所拍攝的加州大火影像，於第一時間判定出 Poomacha 地區野火延燒的狀況，即使是範圍僅有數公尺大小的火焰及火點位置，在兩公尺解析度、標準假彩色的福衛二號 SSIM 彩色融合影像上也能準確地標定出來 (圖五)。這些影像已經提供給美國國家航空太空總署，並公布於自然災害網站上，提供災害防救之用 ([http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/natural\\_hazards\\_v2.php3?img\\_id=14603&src=map](http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/natural_hazards_v2.php3?img_id=14603&src=map)，瀏覽於 2008 年 1 月 7 日)。

### 2. 環境監控

水庫水質之監測為攸關人類基本生活需求之重要課題。傳統的水庫水質監測工作多仰賴架



圖五 應用 F-2 AIPS 處理福衛二號所拍攝加州 Poomacha 地區大火影像

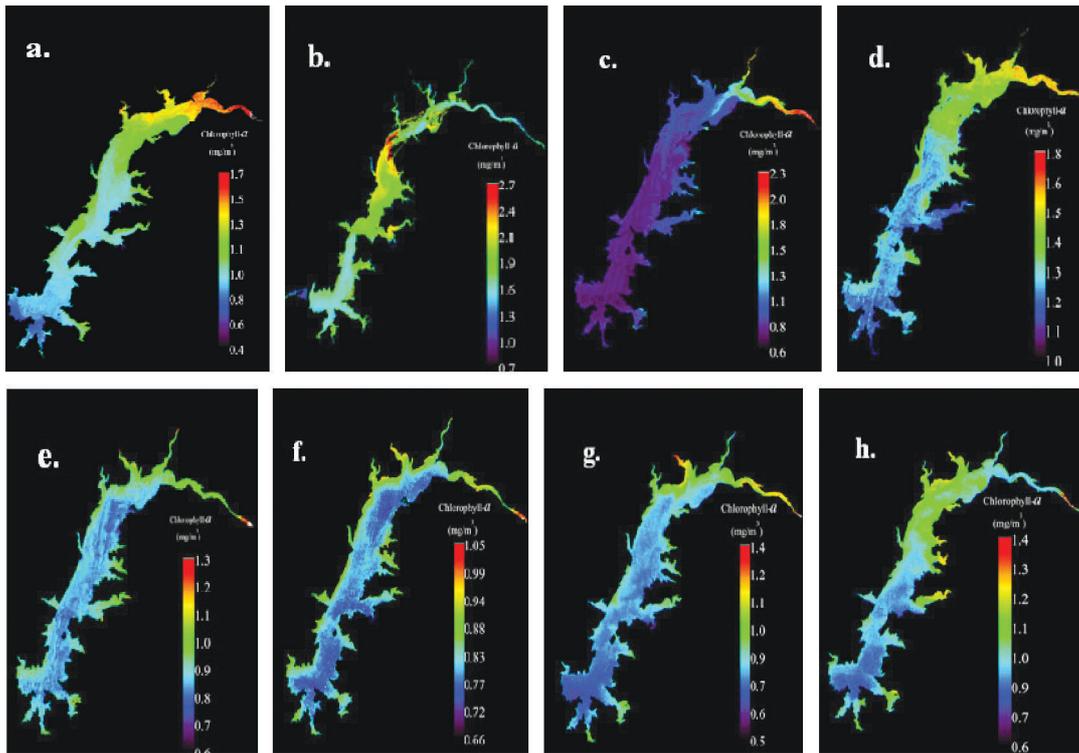
設監測站或以人力於現場進行採樣分析，其在時間與空間上受到人力物力的限制，無論從監測頻率、監測範圍、或是資料代表性等角度來考量，成效皆不盡理想。遙測技術具有長時間、大範圍、近即時監測等之優點，因此，若能藉由遙測方式獲取水庫之水色資訊，進而反求水中物質種類與含量的變化，當可輔助吾人達成監測水庫水質之目標[13]。本研究應用所發展之 F-2 AIPS 處理福衛二號於曾文水庫所拍攝的多期影像，並以手持式高頻譜輻射儀在現場量測水面反射頻譜，並採取水樣。隨後於實驗室中依標準作業程序分析所有水樣之固有光學性質與各項水質參數，並藉此監測水庫內葉綠素 a 與懸浮固體物濃度之時空分佈[14]，如圖六所示。

福衛二號遙測影像在環境監控上的另一項重要應用是水庫集水區崩塌地時空變化之監

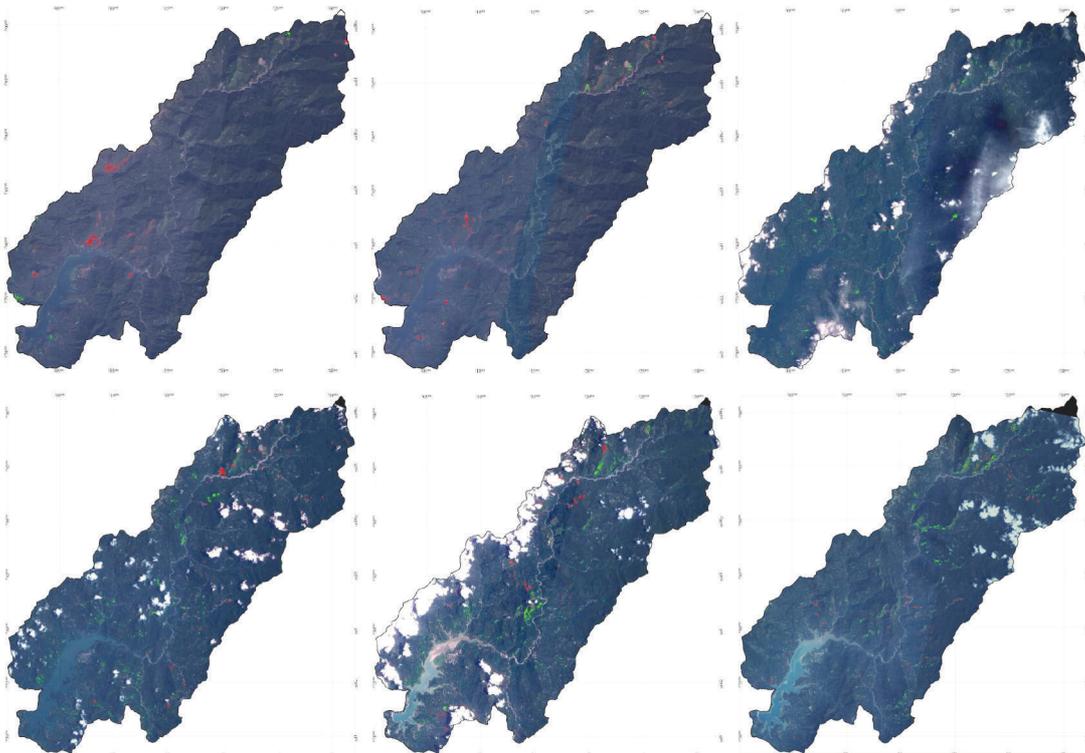
測。台灣河川上游集水區因為近年來天然災害以及人為的過度開發而造成了顯著的破壞。每逢大雨，山區的泥砂土石便會受到雨水沖刷而流入水庫，造成水庫原水濁度大增，甚而導致民生用水無水可供之嚴重問題。本研究應用所發展之 F-2 AIPS 處理福衛二號於曾文水庫集水區所拍攝的多期影像，以探討集水區崩塌地之時空變化受到地震事件與大規模降雨事件之影響[15]，如圖七所示。

### 3. 土地利用變遷

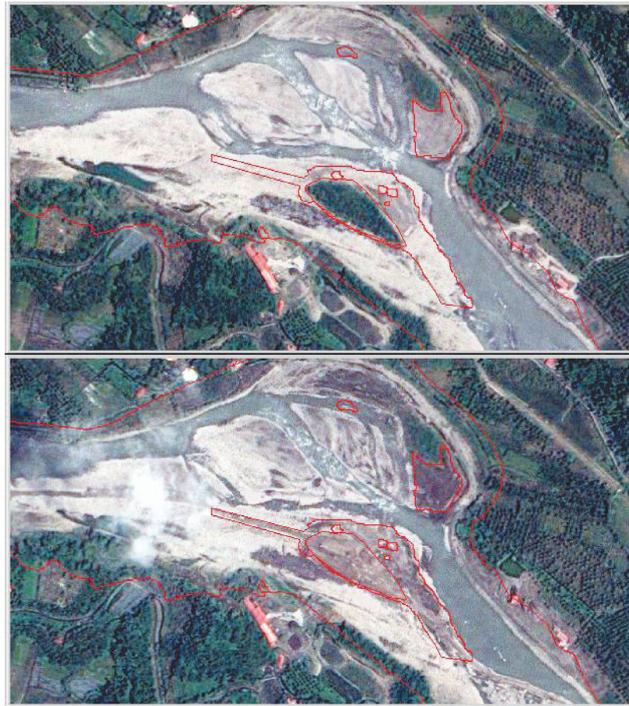
河川土地使用與河砂開採管理多以人為主觀之認定進行相關違規行為之告發，但因河川土地與土砂資源常隨水位變易產生極大之變化，或因缺乏客觀事實之比對，導致相關執行人員與違法行為者發生極多之衝突，亦對相關單位公務之



圖六 應用 F-2 AIPS 處理福衛二號所拍攝曾文水庫多期影像，再配合實驗室分析水樣所得參數，監測水庫內葉綠素 a 之時空分佈[14]



圖七 應用 F-2 AIPS 處理福衛二號所拍攝曾文水庫集水區多期影像以探討集水區崩塌地之時空變化 [15]



圖八 應用 F-2 AIPS 處理福衛二號分別於(a) 95/7/31 與(b) 95/8/25 兩日所拍攝旗山溪流域之木梓國小至超峰寺間河段之影像，並進行變異分析之結果

執行產生諸多困擾。許多盜濫採砂石、毀損河防建造物、棄置廢土廢棄物等違規情事更屬動態行為，且往往發生於交通不便，轄管河川局巡防人員不易查察之偏遠地區，欲於違規情事發生之初期即加以取締告發，尤其困難。因此，如何透過一套完善的監測機制，以快速、客觀、有效的方法掌握河川土地資源利用的現況及變遷的資訊，遂成為水利相關主管單位相當重要的課題之一。本研究應用所發展之 F-2 AIPS 處理福衛二號於濁水溪、高屏溪所拍攝多期影像以進行長期監測。並評估以福衛二號影像進行河川區域大面積變異監測與通報的可行性與時效性，期望可由少數人力進行大面積之監測，並針對長期遙測監測資料進行比對，將發現有異之區域分析結果提供有關單位進行實際現地的查核。圖八為應用 F-2 AIPS 處理福衛二號分別於 95/7/31 與 95/8/25 兩日所拍攝旗山溪流域之木梓國小至超峰寺間河段之影像，並進行變異分析之結果。由圖八可以清楚地辨識出在河床上操作的大型機具、消失的沙洲、人工修築的排水道、以及疏浚的範圍。

#### 4. 農林規劃

我國航遙測技術推動始於農林業調查，每年的稻

作栽培面積調查與稻米產量預測乃是國內遙測技術最重要的應用項目之一。由於福衛二號與其他資源衛星相比較之最大優勢在於多頻譜資訊、高空間與高時間解析度、每日再訪軌道設計，正可以突破目前遙測科技應用於農業的瓶頸，亦能夠提高農作物生長估測及產量預測的準度與精度。本研究應用所發展之 F-2 AIPS 處理福衛二號於臺中縣霧峰鄉農委會農業試驗所農場所拍攝之三十六張影像，所擷取之植被光譜資訊適時反映了水稻植被顏色及形態上的變化，並由此計算出標準差植被指數。研究結果顯示，由福衛二號衛星影像構建之遙測-水稻產量模組具有監測水稻生長與預測產量之應用潛力，對於霧峰地區 2006 年一期稻作和二期稻作獲得合理產量預估[16]。

#### 5. 科學研究與教育

國際極區年(International Polar Year, IPY) (2007-2008)的重點工作之一是蒐集並整合世界各國在極區所拍攝的衛星遙測影像[17]。10年前加拿大曾以特殊的軌道模式操控 Radarsat-1 為期一個月之久，成功地拍攝了全南極大陸地區 30公尺解析度的雷達影像[18]。但光學衛星受到軌



圖九 應用 F-2 AIPS 於監測水稻生長與預測產量之應用[16]。(a)使用高空作業車量測水稻田地表反射頻譜資訊之作業情形，(b)應用 F-2 AIPS 處理福衛二號於臺中縣霧峰鄉農委會農業試驗所農場所拍攝影像，所得之彩色融合正射影像

道高度(AL)、刈幅(SW)、以及指向能力(PC)的限制，對於極區的拍攝範圍始終無法超過一定的緯度。例如 Landsat (AL:705km/SW:185km/PC:0°) 取像的極限到南北緯約 81 度，ASTER (AL:705km/SW:60km/PC:24°) 於 2000 年起將此極限推升至南北緯約 86 度[19]。但直到福衛二號 (AL:891km/SW:24km/PC:±45° 跨軌與延軌方向) 才終於打破這個極限，可以拍攝到整個極區的範圍（包含南北緯 90 度），再加上其每日再訪的軌道可以在一天之中通過極區多次，提供了極區高空間與高時間解析度的衛星遙測影像，是研究極區的寶貴資料。本研究應用所發展之 F-2 AIPS 處理福衛二號於極區拍攝的高空間與高時間解析度的遙測影像，除了提供全世界第一幅南極科學站高空間解析度光學衛星影像[20]，更成功應用多期影像去分辨浮冰的種類，以及追蹤大陸冰架的崩解與變動情形。



圖十 應用 F-2 AIPS 所處理福衛二號於南極科學站拍攝之影像

有鑑於福衛二號升空運轉後為台灣地區提供了前所未有、數量龐大的高品質衛星遙測影像，而真正能夠帶動國內遙測技術之開發及提昇遙測應用之層級端賴於高級專業人才之培養與教育，國立成功大學首創將衛星資訊與地球環境之研究結合，成立了國內第一個「衛星資訊暨地球環境研究所」，並於九十六學年度開始正式招收碩士班學生。預期將可培育更多的優秀人才投入相關研究，真正為國內衛星遙測科技的研究與發展做向下紮根的工作。

#### 四、結語

福衛二號的順利升空運轉，為台灣太空科技與遙測應用開創了新的紀元。三年多來所拍攝高達三億九千多萬平方公里面積的影像，更為台灣地區提供了前所未有、數量龐大的高品質衛星遙測資料。回顧我國太空計畫發展初期曾為是否投入龐大經費的決定引起各界廣泛討論，現在再比對世界各國對於太空科技與遙測應用所投注的經費人力與所展現強烈的企圖心，實在要慶幸當初國科會的堅持與這一路上國家太空中心所有同仁付出的努力。就今日台灣立足世界、放眼天下的角度來評估，「太空科技與遙測應用」已非要不要投入，而是能不能不投入的問題。福衛二號的價值絕不應藉由銷售影像所獲取金錢上的收益來評定，畢竟和已投入的時間、經費與人力相比較，再多的銷售數字也只是凸顯出一個沒有自主製造、發射衛星能力的國家，在衛星商業運轉的領域入不敷出的窘況而已。福衛二號的真正價值應建立在提昇我國太空科技與遙測應用實質的經驗與技術，也只有累積這些寶貴的經驗與技術可以引領我們迎接下一階段的挑戰。盼望藉

由本文介紹現階段針對福衛二號影像特性所開發的 F-2 AIPS 以及實際應用於五大遙測任務之成果，拋磚引玉，未來能結合國內外更多的研究人力與資源，以福衛二號的經驗與成果，讓台灣太空科技與遙測應用的發展更上一層樓。

### 致謝

筆者感謝行政院國家科學委員會 (NSC-95-2625-Z-006-004-MY3, NSC-96-2611-M-006-002) 與國立成功大學邁向頂尖大學計畫之「標竿創新暨新進學者計畫」(B-023) 提供經費補助。

### 參考文獻

- [1] C.-C. Liu, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **44**, 3206 (2006).
- [2] H. Chen, F. Wu and C. Liu, in *The 23rd Conference on Surveying Theories and Applications*, Taichung, Taiwan (2004).
- [3] A. M. Wu, Y. Y. Lee, P. Kuo and R. Kao, in *The first Taipei international conference on digital earth*, Taipei, Taiwan (2003).
- [4] L. L. Coulter, D. A. Stow and S. Baer, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **41**, 2436 (2003).
- [5] X. Dai and S. Khorram, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **36** 1566 (1998).
- [6] Y. Du, P. M. Teillet and J. Cihlar, *Remote Sensing of Environment*, **82**, 123 (2002).
- [7] T. A. Schroeder, W. B. Cohen, C. Song, M. J. Canty and Z. Yang, *Remote Sensing of Environment*, **103**, 16 (2006).
- [8] M. J. Canty, A. A. Nielsen and M. Schmidt, *Remote Sensing of Environment*, **91**, 441 (2004).
- [9] A. A. Nielsen, K. Conradsen and J. J. Simpson, *Remote Sensing of Environmen*, **64**, 1 (1998).
- [10] R. Haydan, G. W. Dalke, J. Henkel and J. E. Bare, in *International Symposium on Remote Sensing of Arid and Semi-arid and Lands*, pp. 599-616, Cairo, Egypt (1982).
- [11] A. R. Gillespie, A. B. Kahle and R. E. Walker, *Remote Sensing of Environment*, **22**, 343 (1987).
- [12] C.-C. Liu, J.-G. Liu, C.-W. Lin, A.-M. Wu, S.-H. Liu and C.-L. Shieh, *International Journal of Remote Sensing*, **28**, 3093 (2007).
- [13] C.-C. Liu, C.-H. Chang, H.-Y. Hsu, C.-C. Tan and C.-G. Wen, *Instruments Today*, **29**, 29 (2007).
- [14] C.-C. Tan, *Application of bio-optical models and FORMOSAT-2 Remote Sensing Imagery to study the temporal and spatial distribution of water quality in Tseng-Wen Reservoir*, M.Sc. Thesis, advised by Wen, C.-G., and Liu, C.-C., Department of Environmental Engineering, National Cheng Kung University, pp. 232 (2007).
- [15] J.-C. Lin, *Applications of FORMOSAT-2 time series imagery on monitoring the spatial and temporal variations of landslide in the catchments of Tseng- Wen reservoir*, M.Sc. Thesis, advised by Liu, C.-C., Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University, pp. 83 (2007).
- [16] Y.-W. Wang, *Integrating FORMOSAT-2 High-Temporal And High-Spatial Imagery With Field Data To Monitor Growth and Estimate Yield Of Rice Crop*, M.Sc. Thesis, advised by Liu, C.-C., Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University, pp. 147 (2007)
- [17] C. Rapley, R. Bell, I. Allison, R. Bindschadler, G. Casassa, S. Chown, G. Duhaime, V. Kotlyakov, M. Kuhn, O. Orheim, P. C. Pandey, H. K. Petersen, H. Schalke, W. Janoschek, E. Sarukhanian and Z. Zhang, p.39 *the ICSU IPY 2007-2008 Planning Group* (2004).
- [18] K. C. Jezek, F. Cars, J. Crawford, J. Curlande, B. Holt, V. Kaupp, K. Lord, N. Labelle-Hammer, A. Mahmood, P. Ondrus and C. Wales, in *IGARRS'98*, pp. 1428-1430 (1998).
- [19] J. S. Kargel, M. J. Abrams, M. P. Bishop, A. Bush, G. Hamilton, H. Jiskoot, A. Kaab, H. H.

Kieffer, E. M. Lee, F. Paul, F. Rau, B. Raup, J. F. Shroder, D. Soltesz, D. Stainforth, L. Stearns and R. Wessels, *Remote Sensing of Environment*, **99**, 187 (2005).

[20] C.-C. Liu, Y.-C. Chang, S. Huang, F. Wu,

A.-M. Wu, S. Kato and Y. Yamaguchi, First space-borne high-spatial-resolution optical imagery of the Antarctic from Formosat-2, *Antarctic Science* (accepted) (2007).