

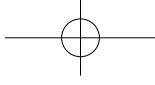
專輯  
航遙測技術



## 運用遙測影像於崩塌區 復育造林成效定量評估之研究

文、圖 | 劉正千 | 國立成功大學地球科學系教授（通訊作者）  
衛 強 | 國立臺灣大學實驗林管理處副研究員  
陳易辛 | 國立成功大學全球觀測與資料分析中心專案經理  
柯明勳 | 國立成功大學全球觀測與資料分析中心副組長  
傅淑瑋 | 林務局農林航空測量所技士  
葉堃生 | 林務局農林航空測量所課長

秉持「維護森林生態，保育自然資源」的核心價值，林務局在「推動生態環境永續發展」的政策上，於國有林事業區內積極實施劣化地復育造林，以維持林地生態完整性。自2000年起，林務局即陸續列管8個林管處所轄進行復育造林之崩場地計511筆，並監測其復育成效。



林務局秉持「維護森林生態，保育自然資源」的核心價值，在「推動生態環境永續發展」的政策上，於國有林事業區內積極實施劣化地復育造林，以維持林地生態完整性。崩塌發生後，林務局依現場地形地貌及環境因素，結合造林、治山工程規劃實施，配合種子撒播、栽植、覆稻草蓆、打樁編柵，截導排水等方式穩定坡面，加速生態演替，恢復林地生機，維護國土保安及水源涵養等功能。自2000年起，林務局即陸續列管8個林管處所轄進行復育造林之崩塌地計511筆，並監測其復育成效。

早年監測作業多以人工現場勘查為主，受限山區地形及植生覆蓋等因素，常無法擇定視野寬闊之有效監測地點，且因易達性條件不佳，致使作業規模受限，監測之頻率及效率亦無法有效提增。復育造林為數年甚或數十年計之工程，基於效率與效益考量，在不增加人員現場勘查之負擔與安全風險下，運用遙測影像進行大範圍崩塌地植生復育情形之評估，應為較具優勢的調查方式。

2015年農林航空測量所（以下簡稱農航所）曾協助林務局，利用「運用光學衛星影像於全島崩塌地判釋與災害分析」委辦計畫所蒐集之2014、2015年度福衛二號衛星影像，以紅外光假色影像及人工判釋方式，判別511筆造林範圍內裸露地及植生覆蓋情形，並據以統計植生恢復面積。然人眼無法根據衛星影像紀錄的細微光譜資訊，判別並決定植生恢復程度，因此在作業過程中，迭遭遇不同操作人員之判釋主觀差異導致正確度不一情形。

為此，農航所於2017年度辦理「運用遙測影像於崩塌區復育造林成效定量評估之研究」案，希能以福衛二號衛星歷年影像為來

源，建立一套以遙測技術為主之列管崩塌地復育監測方法，以一致的自動判釋標準就歷年植生狀態進行追蹤、分析及記錄，提供經營單位因應後續監測、管理之參考，同時亦想了解在衛星影像有限之空間解析力下，是否能藉由光譜資訊分析，提升監測頻率至每年兩次。分析樣態除前述之裸露地及森林外，尚包括低植生區域，以區別林木及未成林範圍，供造林成效的評估。

## 研究方法

### 一、研究樣區挑選

自林務局各林管處取得511處復育造林崩塌地分布圖層，再依照面積大小、復育時間、影像數量充足等條件，挑選30處作為研究樣區，其中先以15處作為試驗樣區，評估分析指標及判釋作業流程，接著再挑選與試驗區不重複之15處驗證區，與航照影像進行驗證，進行精度檢核。

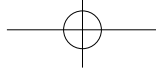
### 二、福衛二號影像蒐集與處理

挑選之30處樣區主要分布於5個區域，以此5區進行福衛二號衛星多時期影像蒐集與處理。影像均使用福衛二號影像自動處理系統（F-2AIPS）進行前處理，流程包括：讀取原始Gerald格式影像，進行基本的幾何與輻射校正，產製Level-1影像，進行全色態與多光譜影像的錯位修正，完成正射糾正，再進行彩色融合成2公尺解析度影像。最後再進行多期影像間幾何精配準與輻亮度正規化處理。

### 三、運用福衛二號判釋森林、陰影、低植生和裸露地

511處列管崩塌地均位於山區，為評估植生復育成效並發展自動化判釋流程，合理假設崩塌地復育區範圍主要土地覆蓋為「裸露地」、





「森林」、「低植生」和「陰影」等4種類型，排除道路、水域與人工建物等地類。

### (一) 決策樹分類法及採用指標

回顧崩塌地自動判釋相關研究 (Yang *et al.* 2014、Liu 2015、Ma *et al.* 2016)，採用NDVI指標可判定植被區域及非植生區，以SI可分辨陰影與非陰影區，Greenness (Gn) 則可區分裸露地與非裸露地。因此本研究採用決策樹分類法，依序使用NDVI、SI、Gn等指標，從多頻譜光學遙測影像中分層判釋出森林、陰影、低植生和裸露地等4種類型之土地覆蓋的作法，判釋階層如表1所示。

NDVI、SI、Gn等3種指標公式如下：

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

$$SI = \frac{(PC1_{nor} - I) \times (1 + S)}{(PC1_{nor} + I + S)}$$

其中S與I為紅綠藍3個波段的真實自然色影像做Hue-Saturation-Intensity (HSI) 的轉換後的分量， $PC1_{nor}$ 是分別對正負區間的PC1值進行正規化計算

$$PC1_{nor} = \frac{PC1_{+}}{\max(PC1)}, \text{ where } PC1_{+} = \begin{cases} 0 & PC1 \leq 0 \\ PC1 & PC1 > 0 \end{cases}$$

$$PC1_{nor} = \frac{PC1_{-}}{\min(PC1)}, \text{ where } PC1_{-} = \begin{cases} PC1 & PC1 \leq 0 \\ 0 & PC1 > 0 \end{cases}$$

$$Greenness = \frac{(Blue - Green)}{(Blue + Green)}$$



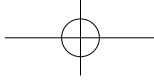
### (二) 運用大津演算法 (Otsu's method) 自動決定閾值

大津演算法是假定圖像主要包含兩類像素（前景像素和背景像素），具有雙模直方圖，根據窮舉法計算能使得類內變異數加權和最

表1、依據決策樹分類法依序使用之指標與判釋土地覆蓋類型

| 階層1                  |    | 階層2              |     | 階層3              |     |
|----------------------|----|------------------|-----|------------------|-----|
| $NDVI > T_{NDVI}$    | 植生 | $SI > T_{SI}$    | 陰影  |                  |     |
|                      |    | $SI \leq T_{SI}$ | 森林  |                  |     |
| $NDVI \leq T_{NDVI}$ | 其他 | $SI > T_{SI}$    | 陰影  |                  |     |
|                      |    | $SI \leq T_{SI}$ | 非陰影 | $Gn > T_{Gn}$    | 低植生 |
|                      |    |                  |     | $Gn \leq T_{Gn}$ | 裸露地 |





攝影 / 段志豪（大山影像）

小，將兩類別分開的最佳閾值。公式如下：

$$\sigma_{\omega}^2(t) = \omega_1(t) \sigma_1^2(t) + \omega_2(t) \sigma_2^2(t)$$

$\sigma_i^2$ 是這兩個類的變異數， $\omega_i$ 權重是被閾值 $t$ 分開的兩個類的機率。要強調的是如果前景像素遠少於背景像素，則大津演算法不適用。

### （三）自動判釋作業流程

判釋作業前先裁切涵蓋整個列管崩場地範圍，範圍長×寬約1.5公里×1公里的影像，再依據決策樹分類法分層次序，計算全幅影像之NDVI值，並繪製直方圖如圖1所示，運用大津演算法進行演算，決定反曲點設定閾值 $T_{NDVI}$ ，

區分出階層1「植生」與「其他」兩區域。

再計算「其他」區範圍的SI值，繪製直方圖如圖2所示，運用大津演算法決定閾值 $T_{SI}$  (Ma *et al.*, 2016)，區分出階層2「陰影」與「非陰影」兩區域。此 $T_{SI}$ 閾值除應用在「其他」區內，並可於同一幅影像切出的「植生」區內，合理地劃分出陰影區的範圍。原因在於，在高NDVI值的植生區內，因為陰影所佔比例較少，不易從直方圖的分布中決定閾值 $T_{SI}$ ；但在低NDVI值的「其他」區內，陰影的比例相對較高，使用SI的直方圖配合大津演算法可以找到理想的 $T_{SI}$ 值，且套用於「植生」區亦符合其分布區域。



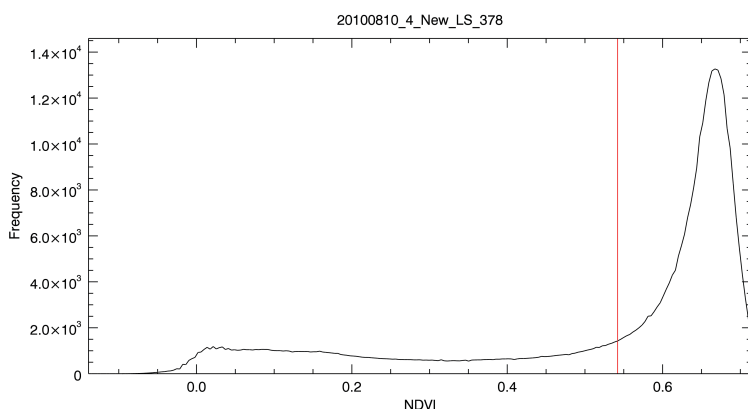
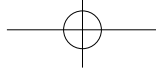


圖1、計算全幅影像之NDVI值所繪製之直方圖，紅色線段為根據其反曲點所設定之閾值 $T_{NDVI}$ ，用以決定「植生」與「其他」區。

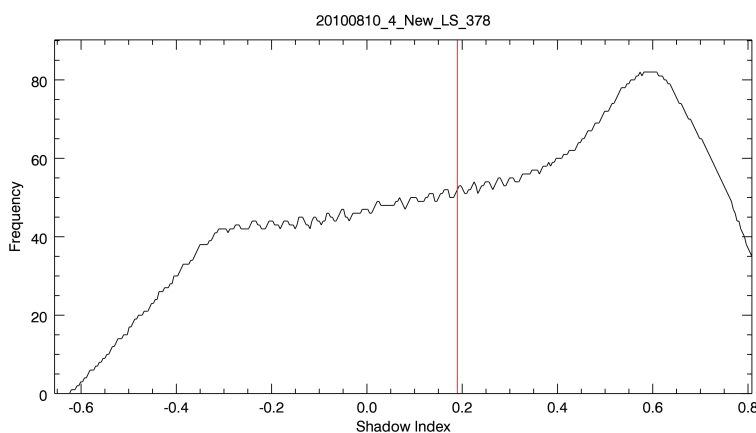


圖2、計算「其他」區範圍的SI值所繪製之直方圖，紅色線段為根據大津演算法所設定之閾值 $T_{SI}$ ，用以決定「陰影」與「非陰影」區。

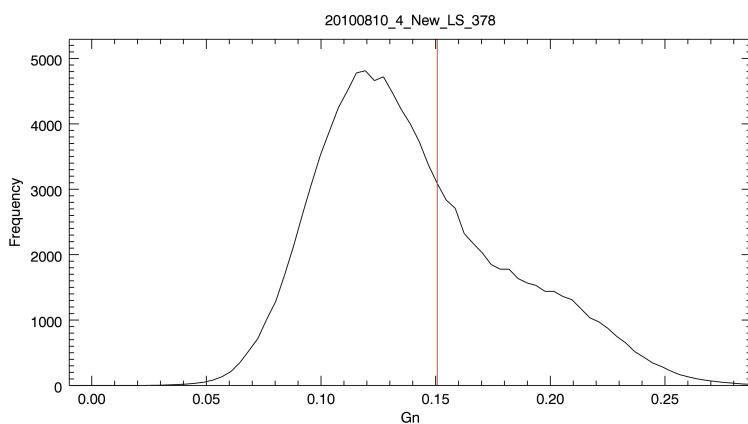


圖3、計算「其他」且「非陰影」區範圍內的Gn值所繪製之直方圖，紅色線段為根據大津演算法所設定之閾值 $T_{Gn}$ ，用以決定「低植生」與「裸露地」。

最後再計算「其他」區且「非陰影」區範圍內的Gn值，繪製直方圖如圖3所示。同樣借助大津演算法強迫二分的特性決定閾值 $T_{Gn}$ ，有效將比例相近的「裸露地」與「低植生」區分開。

#### (四) 精度檢核

為瞭解分析結果準確性，取農航所航攝影像為地真資料，與福衛二號拍攝影像進行精度檢核，兩期影像拍攝時間需相距一個月內，且其間無災害發生造成地貌差異。執行前，先將解析度25公分航照重新取樣成與福衛二號相同解析度（2公尺），並將兩張影像陰影區域取聯集後，製作遮罩濾除範圍，減少解析度差異及陰影對後續分析之影響，最後再以相同方法判釋並計算誤差矩陣，取得整體精度、生產者精度、使用者精度與Kappa指標等資訊。

## 結果

### 一、嘉義大埔事業區223林班地編號378樣區成果

以嘉義大埔事業區223林班地編號378樣區為例，面積26.28公頃，海拔高1,950公尺，坡度 $35^\circ$ ，2010年進行灑播復育，種源為相思樹、赤楊、黑麥草及高狐草等物種。自2008至2016年期間，共取得29幅無雲影像進行分析，以決策

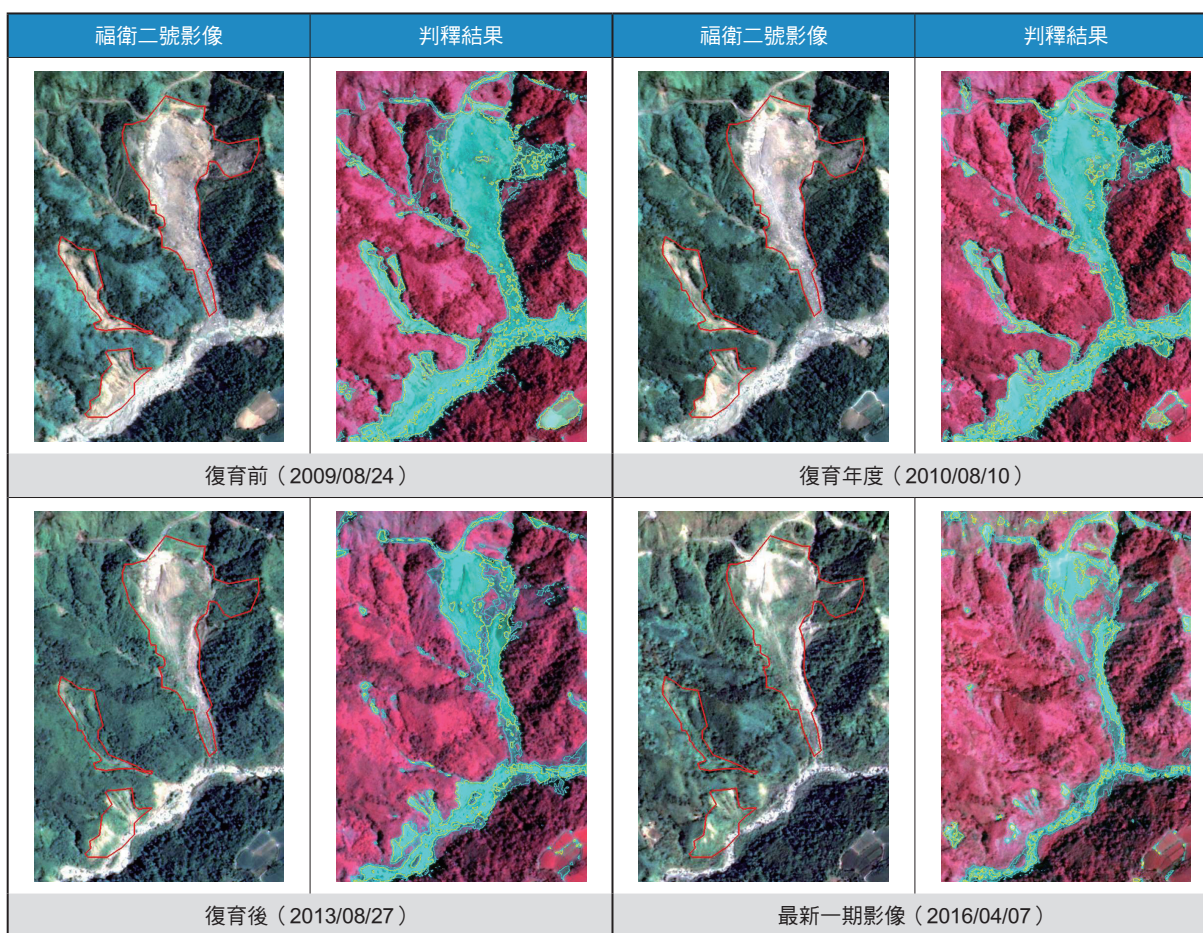
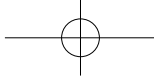


圖4、編號378樣區四期福衛影像判釋成果。(紅色線段為樣區範圍，黃色線段為裸露地區域，藍色線段為低植生區域)

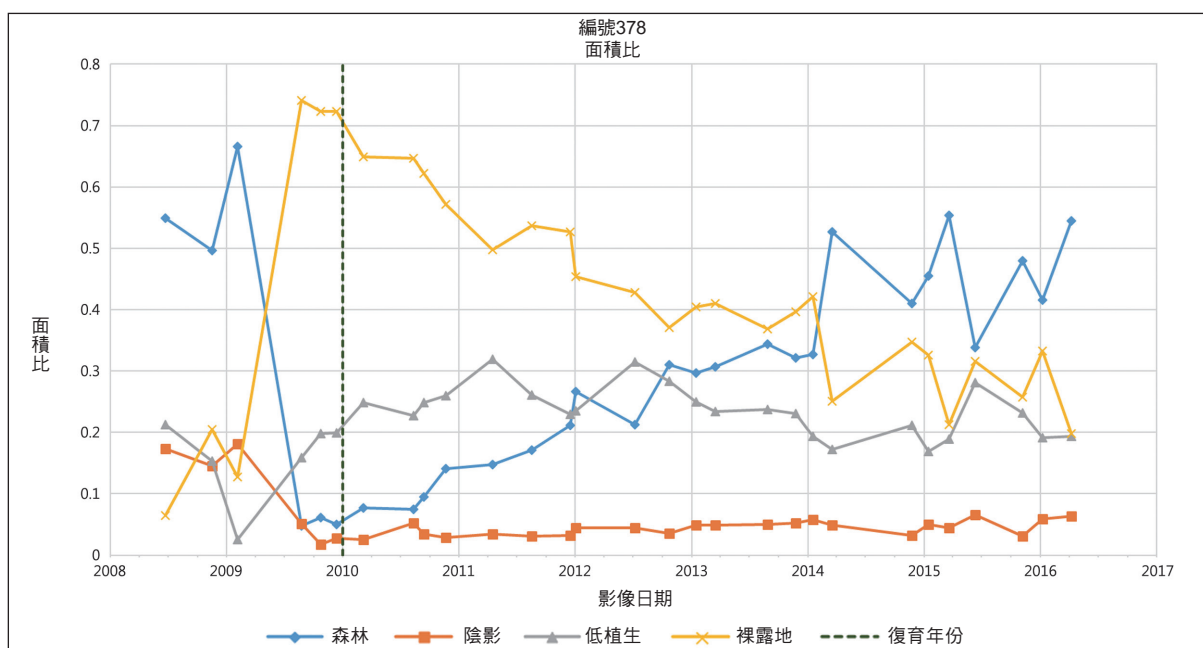
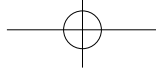


圖5、編號378樣區「森林」、「陰影」、「低植生」和「裸露地」等類型面積比例隨時間變化情形。





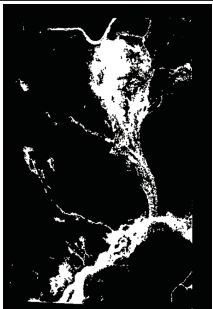
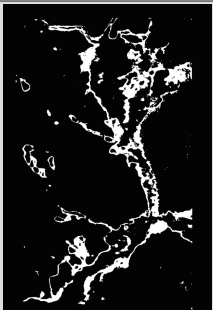
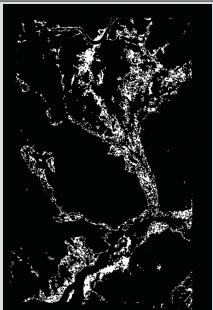
| 判釋影像總面積97.34公頃                                                                      |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 福衛二號影像 (2012/07/07)                                                                 | 航空照片 (2012/07/03)                                                                   |
|    |    |
| 福衛二號影像森林判釋65.29公頃                                                                   | 航空照片森林判釋66.08公頃                                                                     |
|   |   |
| 白色部分為偵測出之植生區域，<br>黑色部分為非植生區域。                                                       |                                                                                     |
| 福衛二號影像裸露地判釋17.98公頃                                                                  | 航空照片裸露地判釋19.13公頃                                                                    |
|  |  |
| 白色部分為初分類非植生區<br>萃取出之裸露地。                                                            |                                                                                     |
| 福衛二號影像低植生判釋14.07公頃                                                                  | 航空照片低植生判釋12.14公頃                                                                    |
|  |  |
| 白色部分為初分類非植生區<br>萃取出之低植生區域。                                                          |                                                                                     |

圖6、編號378樣區植生精度檢核成果。

樹分類法與NDVI、SI與Gn等3種指標，自動選擇閥值分別判出森林、裸露地、低植生及陰影區域後，擷取4期影像成果如圖4，分別為復育前（2009/08/24）、復育年度（2010/08/10）、復育後（2013/08/27）及最新一期影像（2016/04/07）。並將復育區內不同期影像之森林、裸露地、低植生及陰影等4種樣態面積比繪製折線圖（圖5），可看出裸露地比例有逐漸減少、森林面積比逐漸增加的趨勢。

精度檢核部分，取農航所2012年7月3日航攝影像為地真資料，與同年7月7日福衛二號拍攝影像進行判釋，結果如圖6，福衛二號影像判釋之森林、裸露地及低植生面積分別為65.29、17.98及14.07公頃；航空照片判釋之森林、裸露地及低植生面積則為66.08、19.13及12.14公頃。計算誤差矩陣（表2），整體精度可達到86.4%以上，Kappa值為0.7234。其中生產者精度部分，「森林」類別可達94.0%，「裸露地」類別為79.0%，而「低植生」類別為57.2%。

細究其中的差異，主要為空間解析度的不同，造成低植生區域生產者精度或使用者精度仍有40%左右的誤授或漏授情形。航空照片經重新取樣降階，仍保留低植生與森林範圍的許多細節；福衛二號影像空間解析度為2公尺，較小的範圍無法準確判釋，而導致漏授現象。另

外，福衛二號之多頻譜影像實際空間解析度是8公尺，是透過彩色融合技術來提高其空間解析度至2公尺，位於類別邊界之像元，其頻譜訊息仍容易受周遭像元之影響而得到混合之訊息，造成森林與裸露地判釋成低植生，使得低植生判釋面積較大的誤授現象。

## 二、15處驗證樣區精度檢核成果

另挑選15處崩塌地進行分析驗證，基本資訊如表3，擇拍攝時間相近之福衛二號及航照影像進行判釋後，精度檢核成果彙整如表4。15處樣區的整體精度介於69.14-87.51%之間，最低為編號435（69.14%），最高為編號442（87.51%），而Kappa值介於0.46-0.76之間，最低為編號400（0.47），最高為編號442（0.76）。檢視15驗證區的

表2、嘉義大埔事業區223林班地編號378  
植生復育判釋誤差矩陣

| 整體精度    |       | 86.40%     |             |             |
|---------|-------|------------|-------------|-------------|
| Kappa指標 |       | 0.7234     |             |             |
| 福衛      | 航照    | 森林 (pixel) | 低植生 (pixel) | 裸露地 (pixel) |
| 森林      |       | 155,191    | 6,990       | 1,043       |
| 低植生     |       | 8,810      | 17,367      | 8,991       |
| 裸露地     |       | 1,189      | 5,988       | 37,782      |
| 福衛      | 航照    | 森林         | 低植生         | 裸露地         |
| 森林      |       | 94.0%      | 23.0%       | 2.2%        |
| 低植生     |       | 5.3%       | 57.2%       | 18.8%       |
| 裸露地     |       | 0.7%       | 19.7%       | 79.0%       |
| 福衛影像    | 誤授    | 漏授         | 生產者精度       | 使用者精度       |
| 森林      | 4.9%  | 6.1%       | 94.0%       | 95.1%       |
| 低植生     | 50.6% | 42.8%      | 57.2%       | 49.4%       |
| 裸露地     | 16.0% | 21.0%      | 79.0%       | 84.0%       |

表3、15處崩塌地驗證樣區

| 項目 | 編號  | 林管處 | 復育年度 | 事業區 | 林班地      | 面積 (公頃) | 復育方式           |
|----|-----|-----|------|-----|----------|---------|----------------|
| 1  | 391 | 嘉義  | 2011 | 大埔  | 126      | 7.13    | 撒播種子           |
| 2  | 400 | 嘉義  | 2011 | 阿里山 | 197、201  | 6.51    | 撒播種子           |
| 3  | 402 | 嘉義  | 2011 | 大埔  | 118      | 10.59   | 撒播種子           |
| 4  | 411 | 嘉義  | 2012 | 大埔  | 233      | 13.29   | 撒播種子           |
| 5  | 415 | 嘉義  | 2012 | 阿里山 | 136      | 6.00    | 撒播             |
| 6  | 424 | 嘉義  | 2012 | 阿里山 | 157      | 26.01   | 撒播             |
| 7  | 435 | 屏東  | 2010 | 旗山  | 66       | 21.63   | 整地、覆草網、截排水、撒播  |
| 8  | 440 | 屏東  | 2010 | 荖濃溪 | 58       | 11.23   | 撒播             |
| 9  | 442 | 屏東  | 2011 | 旗山  | 68       | 49.38   | 撒播             |
| 10 | 443 | 屏東  | 2011 | 旗山  | 69       | 14.94   | 撒播             |
| 11 | 451 | 屏東  | 2011 | 旗山  | 85       | 25.07   | 整地、截排水、撒播、打樁編柵 |
| 12 | 460 | 屏東  | 2012 | 旗山  | 75、76    | 67.77   | 撒播             |
| 13 | 461 | 屏東  | 2012 | 荖濃溪 | 56、57、58 | 122.05  | 撒播             |
| 14 | 463 | 屏東  | 2012 | 旗山  | 23       | 33.62   | 撒點播            |
| 15 | 482 | 台東  | 2010 | 大武  | 10       | 11.07   | 撒播種子           |



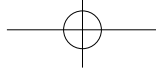


表4、15區驗證崩場地之判釋精度檢核成果

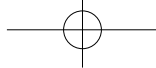
| 編號  | 福衛二號<br>影像日期 | 航拍正射<br>影像日期             | 整體精度<br>(%) | Kappa<br>指標 | 森林       | 低植生   | 裸露地   | 森林       | 低植生   | 裸露地   |
|-----|--------------|--------------------------|-------------|-------------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
|     |              |                          |             |             | 生產者精度(%) |       |       | 使用者精度(%) |       |       |
| 391 | 2014.02.23   | 2014.02.23               | 78.16       | 0.608571    | 98.00    | 11.42 | 78.81 | 77.65    | 45.74 | 83.23 |
| 400 | 2015.12.13   | 2015.12.13               | 75.96       | 0.465926    | 91.53    | 29.11 | 55.87 | 83.16    | 33.66 | 78.71 |
| 402 | 2013.03.16   | 2013.03.10               | 72.23       | 0.468508    | 99.69    | 1.12  | 56.53 | 65.41    | 16.06 | 98.78 |
| 411 | 2014.02.23   | 2014.02.23               | 81.11       | 0.565037    | 99.17    | 0.73  | 77.69 | 80.87    | 28.65 | 83.06 |
| 415 | 2014.02.23   | 2014.02.23               | 82.48       | 0.693120    | 93.94    | 68.15 | 65.71 | 90.78    | 67.03 | 75.42 |
| 424 | 2014.02.23   | 2014.02.25               | 69.46       | 0.514520    | 88.21    | 24.94 | 92.97 | 77.37    | 66.03 | 66.76 |
| 435 | 2015.06.09   | 2015.06.19               | 69.14       | 0.476897    | 90.70    | 32.07 | 62.46 | 67.87    | 6.72  | 97.17 |
| 440 | 2013.02.17   | 2013.03.10               | 82.31       | 0.655051    | 95.72    | 11.41 | 82.99 | 67.67    | 34.06 | 94.82 |
| 442 | 2013.02.17   | 2013.03.10               | 87.51       | 0.758736    | 95.17    | 34.47 | 81.72 | 88.89    | 31.33 | 91.52 |
| 443 | 2013.02.17   | 2013.03.10               | 80.18       | 0.579625    | 95.37    | 26.52 | 60.00 | 81.70    | 30.94 | 85.87 |
| 451 | 2013.02.17   | 2013.03.10               | 74.26       | 0.557887    | 89.97    | 39.29 | 67.99 | 85.08    | 48.16 | 66.33 |
| 460 | 2012.07.05   | 2012.07.03               | 81.72       | 0.630168    | 97.92    | 26.31 | 63.08 | 87.86    | 22.05 | 92.97 |
| 461 | 2013.02.17   | 2013.03.10<br>2013.02.24 | 83.07       | 0.638835    | 98.76    | 13.19 | 70.00 | 82.17    | 39.33 | 91.44 |
| 463 | 2013.02.17   | 2013.03.10               | 77.67       | 0.631903    | 95.00    | 29.95 | 73.52 | 82.37    | 23.22 | 92.73 |
| 482 | 2013.03.08   | 2013.03.10               | 79.30       | 0.520684    | 89.88    | 57.74 | 80.26 | 72.61    | 25.24 | 96.98 |

生產者精度，森林均大於88%，裸露地介於55.87-92.97%，低植生則為0.73-68.15%，主要的誤差來源落在低植生區域，因航照影像上降階後仍保留其細節，仍可判出低植生範圍。

## 結語

本研究針對全臺511處崩場地復育造林區域，選取30處樣區進行先期研究，確定研究方式為決策樹分類法並運用NDVI、SI及Gn等指標，可自動於福衛二號衛星影像上決定閥值並區分樣區內裸露地、森林、低植生、陰影等樣態。以航照為地真資料，進行精度檢核後，從福衛二號影像判釋之森林、裸露地精度較佳，低植生區域雖然精度較低，但對於造林成效可提供較細緻的位置與相對比例等資訊參考，仍有其價值。





本研究另以Landsat-8及Sentinel-2等多光譜開放衛星進行測試，發現亦可應用決策樹分類法及NDVI、SI及Gn等指標進行分析，惟此兩顆衛星在服役及提供影像時間相對樣區崩塌發生時間及復育施作時間晚，無法像福衛二號進行較詳細的討論，但可應用於未來發生且復育面積夠大的崩塌地區，仍建議應持續對於開放衛星資料進行系統性的建置，提供監測工作之參考來源。

有別於利用人眼判釋衛星影像，本研究以自動化作業程序進行光譜值分析，可取得較細緻的植生反應成果，且判釋標準一致，如可廣泛應用於造林成效評估，可取得大範圍影像及科學性數據，提供經營管理單位針對復育不佳區域，重新檢視其原因，並評估是否需要人為介入。

另考量林木生長期程以數十、上百年尺度，以及考慮季節陰影變化及植生物後之影響，過

短之衛星影像監測頻率並不易看出理想之趨勢，且各期之影像費用及前處理所需時間，皆所耗不貲，故後續經營管理單位如需持續追蹤崩塌地復育造林成果，建議可配合檢訂調查之週期，採以約4年之監測週期，並採用與福衛二號空間解析度相近之衛星影像為主（全色態2公尺，多光譜8公尺），參考本研究成果建置之作業流程，分析並檢視所關注之崩塌區域復育情形，再針對期間有變動且需探究成因之區域（如：再次崩塌區域），以更密集之影像序列確認災害發生時間與規模，或為較經濟之作業方式。▲



圖／大山影像