

---

**以 Google Earth Engine 分析多元衛星長期資料於山區坡地植生回復之研究**  
**Vegetation recovery study using multiple satellite long-term imagery in Google Earth Engine**

---

執行單位：國立臺灣海洋大學

執行期間：111 年 01 月 18 日至 111 年 12 月 31 日

計畫主持人：蘇元風 助理教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 111 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）



# 以 Google Earth Engine 分析多元衛星長期資料於山區坡地植生回復之研究

## 摘要

本研究以雲端遙測平台分析長期的 MODIS 與 Landsat 系列影像於山區坡地植生回復的特性。利用 MODIS16 天合成的植生指標產品，以移動平均法減少雲遮的影響，消除雜訊後的植生指標，即用於分析台灣山區林地受到莫拉克颱風的衝擊之後，各地的回復情形則以冪次模式描述之。本研究整合了 Landsat-5、-7、-8、-9 衛星，彙整為 1984 年至 2022 年的長期影像時序資料，並已完成 MODIS 影像與 Landsat 影像的植生回復冪次模式的參數推估，以小林村為例，MODIS 資料顯示莫拉克颱風所造成的崩塌地，以植生指標而言，約需花費 10 年至 12 年不等的時間才能回復到災害之前平均狀態的 9 成。在植生回復力乃至於森林韌性的研究上，建議有持續的研究能量投入，了解未來的林地風險才能提早準備面對未來山坡林地管理的挑戰。

**關鍵詞：**雲端遙測技術、崩塌地、植生回復、冪次模式

# **Vegetation recovery study using multiple satellite long-term imagery in Google Earth Engine**

## **Abstract**

Vegetation recovery is assessed using MODIS and Landsat long-term time series in Google Earth Engine. We proposed a study scheme in which a moving average approach is used to reduce the effect of cloud cover in MODIS and Landsat datasets. The Landsat dataset including Landsat-5, -7, -8, and Landsat-9 and the time span is between 1984 and 2022. The resulted vegetation index image time series is further used to explore the vegetation recovery status after Typhoon Morakot. In this study, we use a power model to describe the recovery process of vegetation index using both datasets. By comparing the coefficient of power model, we found that the results of MODIS and Landsat are very similar. Using ShiaoLin Village as an example, we found that the landslide area takes 10 to 12 years to recover, in terms of NDVI, back to 90% of the average level of the forest before typhoon Morakot. Finally, we hope that more researches regarding forest recovery and forest resilience could be done in the future. Without early awareness of the future challenges in forest management, it is impossible to be well-prepared for the upcoming challenges.

**Keywords: Cloud-based remote sensing, Landslide, Vegetation recovery, Power model**

# 目次

|                        |      |
|------------------------|------|
| 摘要.....                | I    |
| Abstract.....          | II   |
| 目次.....                | III  |
| 圖次.....                | V    |
| 表次.....                | X    |
| 第一章 緒論 .....           | 1-1  |
| 第一節 雲端遙測 .....         | 1-1  |
| 第二節 前人研究 .....         | 1-2  |
| 第三節 研究目的 .....         | 1-4  |
| 第四節 主要工作項目 .....       | 1-4  |
| 第二章 工作執行方法與步驟 .....    | 2-1  |
| 第一節 工作執行流程 .....       | 2-1  |
| 第二節 崩塌目錄 .....         | 2-2  |
| 第三節 雲端遙測分析平台介紹 .....   | 2-3  |
| 第四節 衛星影像資料 .....       | 2-5  |
| 第五節 土地覆蓋分類方法 .....     | 2-8  |
| 第六節 植生回復指標 .....       | 2-10 |
| 第三章 結果與討論 .....        | 3-1  |
| 第一節 歷年山區崩塌地分析 .....    | 3-1  |
| 第二節 衛星影像資料蒐整與前處理 ..... | 3-5  |
| 第三節 植生指標時間序列分析 .....   | 3-11 |
| 第四節 案例分析 .....         | 3-18 |
| 第五節 網路應用程式 .....       | 3-40 |
| 第四章 結論及建議 .....        | 4-1  |

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 第一節 結論 .....                | 4-1  |
| 第二節 建議 .....                | 4-3  |
| 參考文獻.....                   | 參-1  |
| 附錄.....                     | 附-1  |
| 附錄一、細部計劃書書面審查意見回覆辦理情形 ..... | 附-1  |
| 附錄二、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形 .....   | 附-3  |
| 附錄三、期中審查意見暨回覆辦理情形 .....     | 附-8  |
| 附錄四、期末審查意見暨回覆辦理情形 .....     | 附-12 |
| 附錄五、2019-2022 土地覆蓋分類圖 ..... | 附-14 |
| 附錄六、衛星影像整理表 .....           | 附-18 |

## 圖次

|                                                                                                                  |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 2-1 本計畫研究流程示意圖 .....                                                                                           | 2-2  |
| 圖 2-2 EARTH ENGINE 中匯入完成之各年度崩塌目錄，以布唐布納溪<br>為例 .....                                                              | 2-3  |
| 圖 2-3 EARTH ENGINE 運作方式(改繪自 GOOGLE EARTH ENGINE) .                                                               | 2-3  |
| 圖 2-4 GOOGLE EARTH ENGINE 平台示意圖 .....                                                                            | 2-4  |
| 圖 2-5 本團隊過去所建立之 GOOGLE EARTH ENGINE APP，可用於查<br>詢坡地受到地形影響在 SENTINEL 影像上的地形效應 .....                               | 2-5  |
| 圖 2-6 EARTH ENGINE 中的 MODIS 16 天合成(16-DAY COMPOSITE)資<br>料集(MOD13Q1).....                                        | 2-6  |
| 圖 2-7 EARTH ENGINE 中的 LANDSAT 系列資料集.....                                                                         | 2-7  |
| 圖 2-8 EARTH ENGINE 中的 SENTINEL-2 資料集 .....                                                                       | 2-7  |
| 圖 2-9 植生回復指標示意圖 .....                                                                                            | 2-11 |
| 圖 3-1 全台 839 個子集水區崩塌率隨時間變化之趨勢，顏色越呈現<br>紅色表示崩塌率之趨勢為增加，綠色則表示崩塌率之趨勢<br>為逐年減少，黃色則表示崩塌率並未明顯的增加或減少                     | 3-3  |
| 圖 3-2 全台 839 個子集水區崩塌率隨時間變化趨勢之歷線圖<br>(HISTOGRAM)，紅色為崩塌地增加趨勢，綠色為崩塌地減少<br>趨勢，黃色則為平衡狀態。為清楚呈現次數統計，Y 軸設定<br>為對數軸 ..... | 3-3  |
| 圖 3-3 崩塌率隨時間變化斜率最大的三個子集水區 .....                                                                                  | 3-4  |
| 圖 3-4 尼伯特颱風(2016)路徑圖(資料來源：中央氣象局).....                                                                            | 3-5  |
| 圖 3-5 MOD13Q1 資料集受到雲遮影響的比例 .....                                                                                 | 3-6  |

|                                                                                                                                                         |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 3-6 海拔大於 100 公尺的區域中，MOD13Q1 資料集受到雲遮影響的比例 .....                                                                                                        | 3-7  |
| 圖 3-7 LANDSAT 系列衛星各圖幅(TILE)之覆蓋範圍 .....                                                                                                                  | 3-8  |
| 圖 3-8 GEE 中融合 LANDSAT-5、LANDSAT-7、LANDSAT-8 與 LANDSAT-9 之 NDVI 序列 .....                                                                                 | 3-9  |
| 圖 3-9 SENTINEL-2 圖幅編號覆蓋範圍 .....                                                                                                                         | 3-10 |
| 圖 3-10 MODIS 影像中受雲遮影響造成的時間序列突波 .....                                                                                                                    | 3-11 |
| 圖 3-11 植生指標時間序列計算移動平均，不同窗框大小之差異 .....                                                                                                                   | 3-12 |
| 圖 3-12 高雄市甲仙區小林村所在之子集水區受到莫拉克颱風造成之衝擊量，其數值為 NDVI(乘 10000)之差異，資料為 MODIS 系列 .....                                                                           | 3-14 |
| 圖 3-13 高雄市甲仙區小林村所在之子集水區莫拉克颱風之後回復模型之參數，資料為 MODIS 衛星，(A)為冪次項(S)；(B)為常數項(LOG(C))；(C)為判定係數(R-SQUARE)；(D)黑色十字所在網格之時間序列與套配模式；(E) 黑色方格所在網格之時間序列與套配模式 .....     | 3-15 |
| 圖 3-14 高雄市甲仙區小林村所在之子集水區受到莫拉克颱風造成之衝擊量，其數值為 NDVI(乘 10000)之差異，資料為 LANDSAT 系列 .....                                                                         | 3-16 |
| 圖 3-15 高雄市甲仙區小林村所在之子集水區莫拉克颱風之後回復模型之參數，資料為 LANDSAT 系列影像，(A)為冪次項(S)；(B)為常數項(LOG(C))；(C)為判定係數(R-SQUARE)；(D)黑色十字所在網格之時間序列與套配模式；(E) 黑色方格所在網格之時間序列與套配模式 ..... | 3-17 |
| 圖 3-16 屏東縣來義鄉來義聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢 .....                                                                                                                   | 3-18 |

|                                                                                                                              |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 3-17 屏東縣來義鄉來義聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果<br>(A)來義聚落與所在子集水區；(B)莫拉克颱風後所受衝擊；<br>(C)回復模式冪次項；(D)回復模式常數項；(E)回復模式判定<br>係數 .....         | 20   |
| 圖 3-18 屏東縣霧台鄉光明巷與阿禮聚落所在子集水區之崩塌率變<br>化趨勢 .....                                                                                | 3-21 |
| 圖 3-19 屏東縣霧台鄉的光明巷與阿禮聚落以 MODIS 影像分析之植<br>生回復結果(A)光明巷與阿禮聚落與所在子集水區；(B)莫拉<br>克颱風後所受衝擊；(C)回復模式冪次項；(D)回復模式常數<br>項；(E)回復模式判定係數..... | 3-22 |
| 圖 3-20 宜蘭縣大同鄉太平村所在子集水區之崩塌率變化趨勢...                                                                                            | 3-24 |
| 圖 3-21 2012 年蘇拉颱風影響宜蘭縣大同鄉的太平山地區(右圖雨量<br>集中處，資料來源：中央氣象局與全球災害事件簿)....                                                          | 3-24 |
| 圖 3-22 宜蘭縣大同鄉太平村以 MODIS 影像分析之植生回復結果(A)<br>太平村與所在子集水區；(B)莫拉克颱風後所受衝擊；(C)回<br>復模式冪次項；(D)回復模式常數項；(E)回復模式判定係數<br>.....            | 3-25 |
| 圖 3-23 高雄市桃源區寶山聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢                                                                                              | 3-26 |
| 圖 3-24 高雄市桃源區寶山聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果<br>(A)寶山聚落與所在子集水區；(B)莫拉克颱風後所受衝擊；<br>(C)回復模式冪次項；(D)回復模式常數項；(E)回復模式判定<br>係數 .....         | 3-27 |
| 圖 3-25 南投縣仁愛鄉廬山部落所在子集水區之崩塌率變化趨勢                                                                                              | 3-28 |
| 圖 3-26 南投縣仁愛鄉廬山部落以 MODIS 影像分析之植生回復結果<br>(A)廬山部落與所在子集水區；(B)莫拉克颱風後所受衝擊；                                                        |      |

|                                                                                                          |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| (C)回復模式冪次項；(D)回復模式常數項；(E)回復模式判定係數 3-                                                                     | 29   |
| 圖 3-27 臺東縣延平鄉紅葉村所在子集水區之崩塌率變化趨勢....                                                                       | 3-30 |
| 圖 3-28 2016 年莫蘭蒂颱風影響臺東縣延平鄉紅葉村(資料來源：中央氣象局與全球災害事件簿).....                                                   | 3-30 |
| 圖 3-29 臺東縣延平鄉紅葉村以 MODIS 影像分析之植生回復結果(A)紅葉村與所在子集水區；(B)莫拉克颱風後所受衝擊；(C)回復模式冪次項；(D)回復模式常數項；(E)回復模式判定係數.....    | 3-31 |
| 圖 3-30 臺東縣大武鄉大鳥聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢                                                                          | 3-32 |
| 圖 3-31 臺東縣大武鄉大鳥聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果(A)大鳥聚落與所在子集水區；(B)莫拉克颱風後所受衝擊；(C)回復模式冪次項；(D)回復模式常數項；(E)回復模式判定係數 ..... | 3-33 |
| 圖 3-32 高雄市茂林區萬山聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢                                                                          | 3-34 |
| 圖 3-33 高雄市茂林區萬山聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果(A)萬山聚落與所在子集水區；(B)莫拉克颱風後所受衝擊；(C)回復模式冪次項；(D)回復模式常數項；(E)回復模式判定係數 ..... | 3-35 |
| 圖 3-34 台中市和平區松茂聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢                                                                          | 3-36 |
| 圖 3-35 台中市和平區松茂聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果(A)松茂聚落與所在子集水區；(B)莫拉克颱風後所受衝擊；(C)回復模式冪次項；(D)回復模式常數項；(E)回復模式判定係數 ..... | 3-37 |

|                                                                                                             |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 圖 3-36 嘉義縣阿里山鄉公興村聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢.....                                                                      | 3-38 |
| 圖 3-37 嘉義縣阿里山鄉公興村聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果(A)公興村聚落與所在子集水區；(B)莫拉克颱風後所受衝擊；(C)回復模式冪次項；(D)回復模式常數項；(E)回復模式判定係數 ..... | 3-39 |
| 圖 3-38 MODIS 植生指標時間序列 APP 初步版型，右上時間序列為左圖中紅色圓點所在像元所得之 NDVI 時序，右下則為子集水區內平均 NDVI 時序 .....                      | 3-40 |

## 表次

|                                         |      |
|-----------------------------------------|------|
| 表 3-1 36 處大規模崩塌潛勢區(依崩塌率斜率排序).....       | 3-18 |
| 表 附-1 彙整 2019 年 SENTINEL-2 雲遮較少之影像..... | 附-18 |
| 表 附-2 彙整 2020 年 SENTINEL-2 雲遮較少之影像..... | 附-19 |
| 表 附-3 彙整 2021 年 SENTINEL-2 雲遮較少之影像..... | 附-20 |
| 表 附-4 彙整 2022 年 SENTINEL-2 雲遮較少之影像..... | 附-21 |

## 第一章 緒論

臺灣的地理位置位處於颱風與地震好發的區域，豪大雨、颱風以及地震都是造成坡地災害的主要原因，在近 30 年中的眾多颱風災害事件當中，以 2009 年的莫拉克颱風所造成的影響最為顯著，根據國家災害防救科技中心的報告(陳亮全等人，2011)顯示，莫拉克颱風在台灣山區造成了約 1690 處坡地災害，集中於台南、高雄、嘉義、屏東與南投等地。這樣的坡地災害徹底的破壞了山區的自然生態，這些崩塌與土石流發生的區域需要多少時間才能夠回復到災害前的情形，或是這些區域所處的環境已難以再回復到以往的程度，是本研究主要想探討的問題。

### 第一節 雲端遙測

遙測影像在坡地災害中扮演重要的角色，主要優勢為遙測技術可一次監測大範圍的坡地區域，這些區域往往是人力難以抵達的陡峭山區，當大規模且多處坡地災害發生時，非常可能遭遇山區道路阻斷，極難抵達崩塌發生地區進行詳細的調查，此時全面性的監測顯得格外重要，遙測技術可能是最適當的監測工具之一。

近年來遙測影像分析走向開放雲端(open cloud)的方式，意即透過雲端的伺服器，在伺服器端的超級電腦處理大量的遙測影像，最終將結果回傳到使用者端。由於使用的衛星影像是免費且開放的，這樣的雲端遙測平台在近幾年陸續推出，例如：Google Earth Engine (或稱為 Earth Engine)、Sentinel-Hub 以及 Microsoft Planetary Lab 等。以 Earth Engine 為例，開放的資料集已累積多達 615 多種，包含 221 種影像集

合(Image Collection)與 394 種向量圖資(Feature Collection)，總容量累積已超過 100 PB，不只有歷年的光學影像(例如：Landsat 與 Sentinel-2)，也有雷達影像(Sentinel-1)，其他如地表溫度與降雨等氣象資料集也在其中，還有 SRTM 等數值高程模式資料(Digital Elevation Model, DEM)，豐富的資料集與多元的介面，使得 Earth Engine 受到許多研究者關注與使用。

## 第二節 前人研究

有關使用衛星影像評估林地回復的研究，Lin et al. (2004)以 SPOT 影像分析 921 地震後，九九峰的裸露地回復情形，該研究以 NDVI 指標為基礎，計算植生覆蓋指標(vegetation cover index, C)，並以不同時期的 C 值互相比較，定義一植生回復指標(vegetation recovery index, VRI)，當 VRI 為 1 時，表示植生完全回復到災害之前的水準。Lin et al. (2010)則採用多種植生指標，例如：NDVI、SAVI、MSAVI、IPVI 等進行土地覆蓋分類，分類方法則採用類神經網路系統，透過分類後的不同時期影像分析，評估植生回復的情形，其研究結果顯示植生回復的情形有限。Yunus et al. (2020)以 MODIS 影像分析 2008 年汶川大地震後裸露地的復原情形，同樣採用植生回復率(vegetation recovery rate, VRR)作為指標，其研究結果顯示汶川大地震後約需要 18 年才能回復到原有的植生狀態。

Yang et al. (2018)同樣使用 MODIS 影像分析 2008 汶川大地震後的植生復原情形，研究中採用移動平均(moving average)的窗框大小為 23，其原因為每年的 MODIS16 天植生指標產品中共有 23 幅影像。Yang et al. (2021)則使用 MODIS 衛星影像，以 BFAST(Breaks for

Additive Season and Trend)演算法找出多時期影像中的變遷點(break point)，分析加州乾旱下的植生變化。BFAST 為用於找出時間序列中突然改變點的演算法。Liu 等人(2019)以三階層的決策樹法，分析 NDVI 與其他光譜指標應用於區分不同土地利用類別的效果，並應用於植生復育的研究，其使用分類後分析土地利用變化而分析植生復育程度。

同樣針對衛星影像時間序列分析的技術，LandTrendr 同樣被大量使用(Kennedy et al., 2010; Shimizu and Saito, 2021)，LandTrendr 為 Kennedy 等人(Kennedy et al. 2010)所提出的時序分割演算法(temporal segmentation algorithm)，整個演算法可分為六個步驟，第一為去除尖刺(despike)，其假設雲遮等影響為短暫的，在時間序列上呈現一尖刺(spike)，此步驟主要目的為將此類尖刺移除。第二步驟是將時間序列對時間變數進行迴歸分析，並找出偏離迴歸線最遠的點，選擇為分段點，前後各分段再次進行迴歸分析，反覆找出分段點。第三步驟為，找出各分段點前後的迴歸斜率角度變化最小的分段點，並將之移除，此步驟反覆進行直到預先設定的最大分段數量(max\_segments)滿足為止。第四步驟為找到最佳的路徑，其按照時間順序將各分段的迴歸係數重新決定。第五步驟則將前述所決定個分段點，逐一減少分段點後，得到一系列的時序序列分割模式。最後的步驟則是要從前一步驟中的系列模式中挑選最佳的模式。LandTrendr 的最後輸出資料即為時間序列分段點年份以及波段數值。

Boulton et al. (2022)採用 NDVI 時間序列的一階自相關係數(lag-1 auto-correlation, AR(1))作為指標，評估亞馬遜雨林的植物是否對於環境因素的韌性(resilience)正在逐漸地減少，研究結果顯示高達 75%的

雨林對於環境變化(例如：全球暖化與極端氣候)的韌性，是處於減少的趨勢。在空間分布上，雨林韌性的減少的速度在較少雨量的區域比較明顯，相對於人為活動集中的地區而言。

### 第三節 研究目的

本研究蒐集 2004 年至 2021 年之崩塌目錄資料，並檢視台灣山區受崩塌造成坡面裸露的趨勢，並以 MODIS 衛星與 Landsat 衛星等兩種不同空間解析度的長期植生指標序列，分析林地受到莫拉克颱風衝擊之後，所需要的回覆時間。最後本研究建立之演算法以及植生回復指標(vegetation recovery index)，將透過 Earth Engine 強大巨量資料運算與展示效能，製作一網路應用程式(web application)，並發布於網頁供民眾使用查詢裸露地回復的成果。

### 第四節 主要工作項目

本研究旨在以長年期的衛星影像深入分析裸露地回復的能力。預期完成的工作項目如下：

- (1).挑選後可供分析之 Landsat、MODIS、Sentinel 衛星影像列表
- (2).影像拍攝期間每年一幅土地覆蓋分類影像
- (3).評估後適當之植生回復指標
- (4).植生回復案例分析
- (5).網路應用程式開發供使用者查詢分析結果

## 第二章 工作執行方法與步驟

### 第一節 工作執行流程

由前述的文獻可以發現，由植生指標定義植生回復指標是可行的方式，但是前述研究並未使用長年期且多解析度的衛星影像進行更多案例的評估，此為本研究的重要立基點。此外，雲端遙測平台(例如：Earth Engine)的出現，使我們可以建立植生回復指標之後，將演算法於 Earth Engine 平台上開發網路應用程式，方便使用者查詢不同區域的植生回復指標。

本研究執行流程如圖 2-1 所示，計畫初期蒐整 Earth Engine 上的歷年光學影像圖資，例如：MODIS、Landsat、Sentinel-2 等不同解析度的光學遙測影像。使用中高解析度(10~30 公尺)的遙測影像，進行土地覆蓋分類，主要將針對山區裸露地、林地、水體、建築、農地等類別進行分類。分類演算法將比較傳統之分類方法，例如：貝式分類法，與新穎的機器學習方法，例如：SVM 與 Random Forests 等方法。建立示範區域內詳細的歷年土地覆蓋圖資與崩塌目錄。由中低解析度(250 公尺)的衛星影像，計算多年期的植生指標影像，並以時間序列分析方法，定義出適當的植生回復指標(Vegetation Recovery Index)，透過 Earth Engine 的查詢與展示介面，開發出網路應用程式，供使用者查詢植生回復的情形。

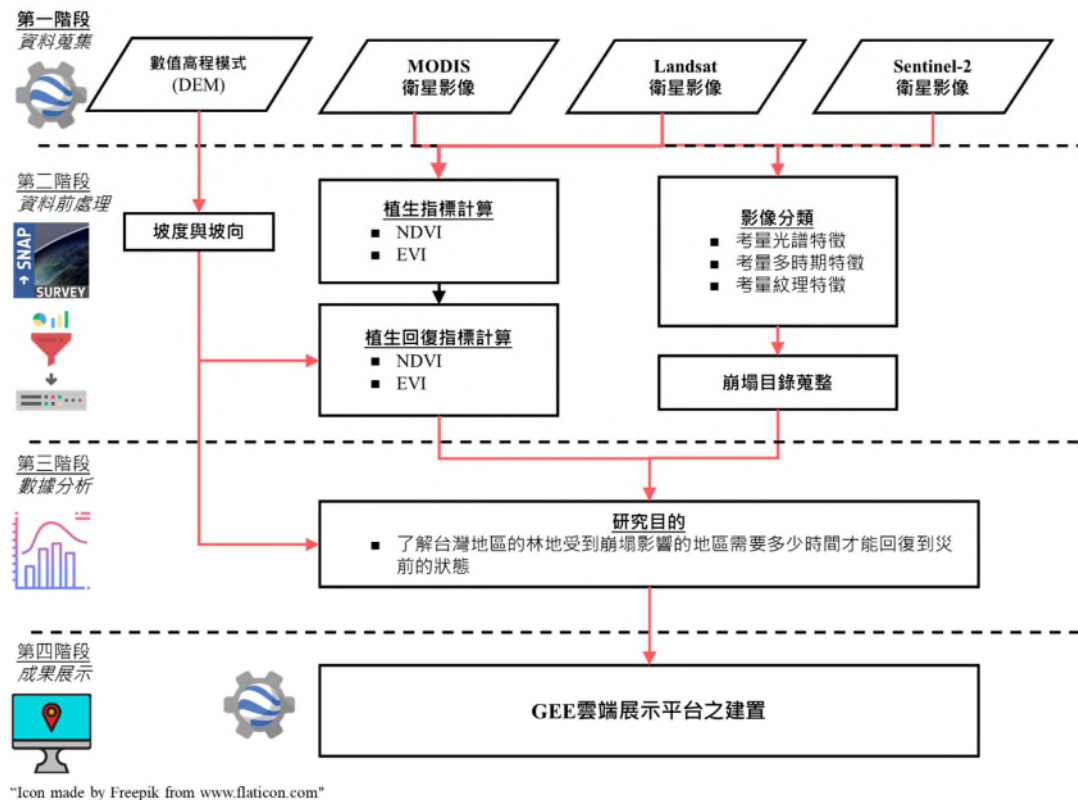


圖 2-1 本計畫研究流程示意圖

## 第二節 崩塌目錄

為了解台灣山區歷年崩塌造成的裸露地分布範圍，本研究蒐集農委會林務局委託成功大學，自 2004 年至 2018 年期間，以當年度 1~7 月的全島鑲嵌衛星影像產製的衛星判釋全島崩塌地圖，所建立的崩塌目錄，其最小面積可偵測面積為 0.1 公頃。此外，同樣在政府資料開放平臺內有水保局產製之 2019 至 2021 年事件型崩塌目錄，也將做為參考輔助判斷新增崩塌地的區域。以上崩塌目錄資料，在本計畫中均已匯入 GEE 中，相關連結請參見附錄。為清楚呈現各年之間的變化，這裡以高雄市桃源區的布唐布那斯溪(少年溪)為例，呈現各年度之間的崩塌目錄變化(圖 2-2)。

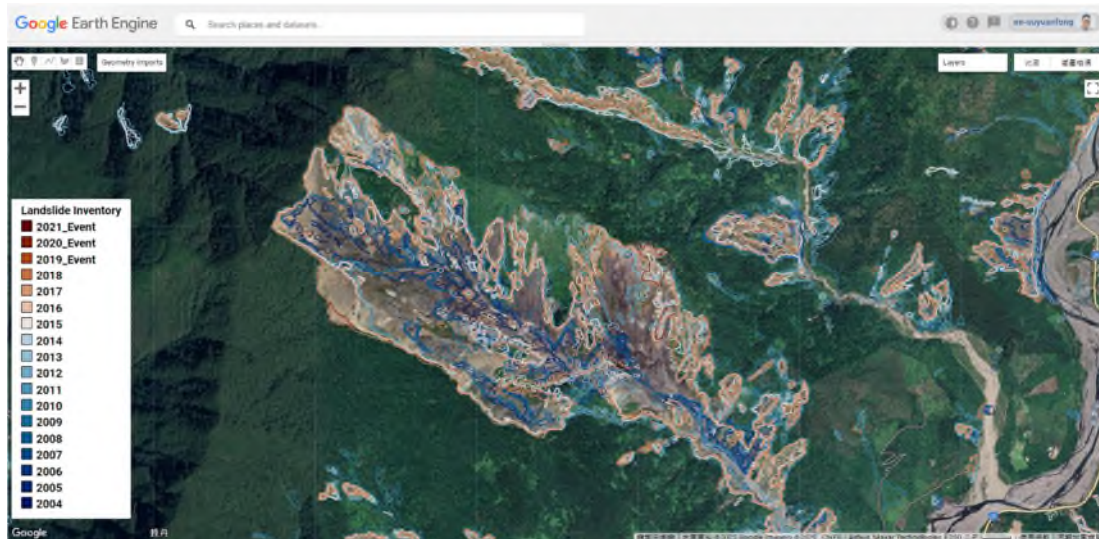


圖 2-2 Earth Engine 中匯入完成之各年度崩塌目錄，以布唐布納溪為例

### 第三節 雲端遙測分析平台介紹

Earth Engine (EE)是 Google 近十年開發的網路平台，該平台提供簡易使用的介面，讓研究者透過少量的程式碼，即可處理全球尺度的巨量（multi-petabyte）的衛星影像資料，透過 Google 的雲端運算能力，可即時進行影像分析並在圖台呈現運算結果(如圖 2-3)。

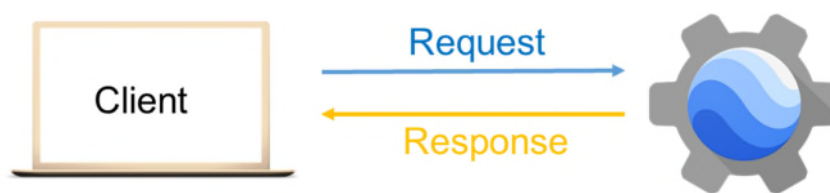


圖 2-3 Earth Engine 運作方式(改繪自 Google Earth Engine)

GEE 分析平台之介面如圖 2-4 所示，其中最上端為查詢區，可查詢地理位置或是 GEE 中的資料集，上方左側為資料目錄區，用於管理程式碼。畫面中間為程式碼撰寫區，GEE 支援 JavaScript 語言的使用，用以存取衛星影像以及後續分析。畫面右上方為資訊呈現區，執行結果可呈現於中控台（console），畫面下方則為圖台互動區，執行

成果將會直接呈現於圖台，同時可讓使用者自行透過圖台選取點位或是多邊形等物件，並可於程式撰寫區使用圖台的物件進行空間相關的分析。

透過 EE 編輯使用者介面的程式碼之後，研究人員可將程式碼發布為網頁應用程式（Web application, APP），開放供所有人使用之互動介面，圖 2-6 為本研究團隊過去所建立的 APP，可用於查詢台灣各地使用 Sentinel-1 影像時，地形對影像造成的影響，其中左側為 Ascending 的 Sentinel-1 影像，右側則為 Descending 的影像。

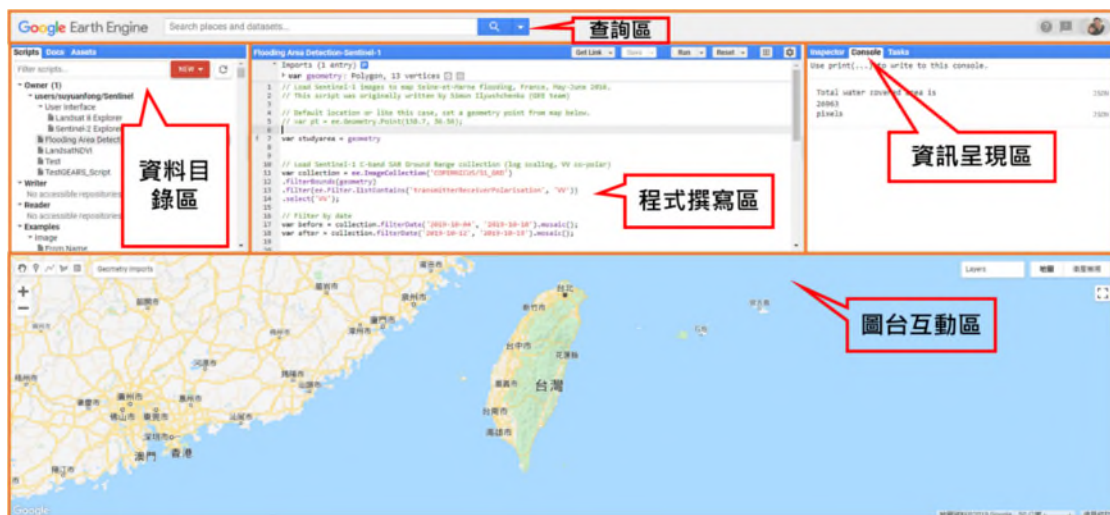


圖 2-4 Google Earth Engine 平台示意圖

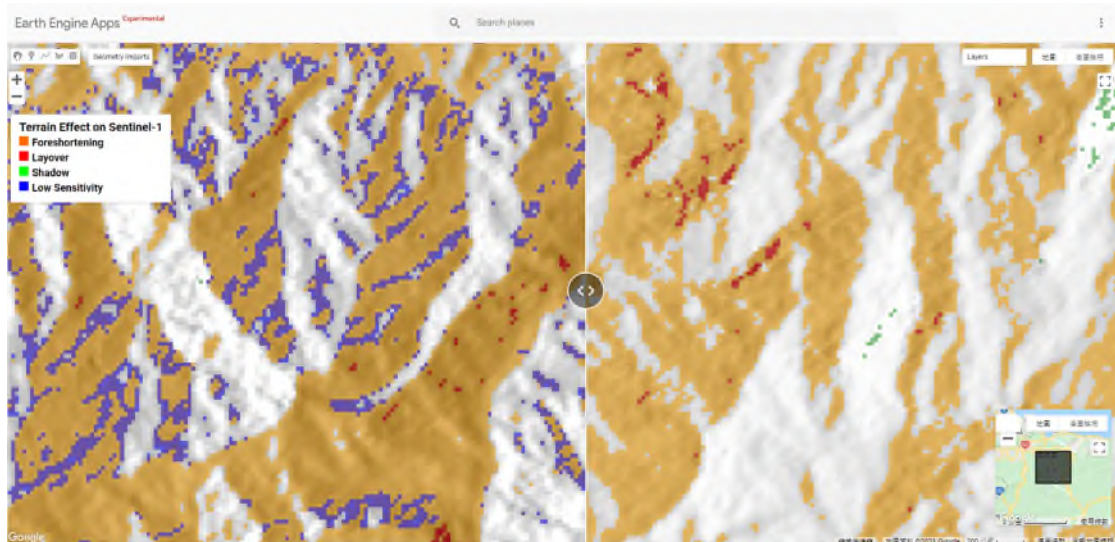


圖 2-5 本團隊過去所建立之 Google Earth Engine APP，可用於查詢坡地受到地形影響在 Sentinel 影像上的地形效應

#### 第四節 衛星影像資料

在 GEE 中有多達 600 多種的開放資料集，其中本研究將使用 2000 年至 2022 年的 MODIS 衛星影像集(MOD13Q1)，如圖 2-6 所示。MOD13Q1 為美國太空總署(NASA)所產製的 MODIS 衍生產品(MOD13Q1.061 Terra Vegetation Indices 16-Day Global 250m)，其空間解析度為 250 公尺，每 16 天一張影像，該資料集中有兩個植生指標波段，分別為正規差植生指標(NDVI)與強化植生指標(EVI)。此衍生產品為蒐集每日之 MODIS 地表反射率產品，原始空間解析度為 250 公尺，採用影像合成(Image composite)的演算法產製而得，該合成演算法為選擇 16 天中最大的植生指標數值作為合成後的數值，此法稱為 Maximum Value Composite (MVC, Didan et al., 2015)。

在中高解析度的光學影像方面，本研究則採用 Landsat 5-9 系列衛星影像自 1984 年開始到 2022 年的影像，如圖 2-7 為 Landsat 9 資料集的介紹，以及 2015 年至 2022 年的 Sentinel-2 資料集(如圖 2-8)。

Google Earth Engine 中蒐集了 Landsat-1 至 Landsat-9 的歷年衛星影像資料(如圖 2-7 所示)，然而 Landsat-1 至 Landsat-4 的 MSS 影像資料仍存在影像定位的問題，因此本研究採用 Landsat-5、Landsat-7、Landsat-8 與 Landsat-9 進行分析，年份則自 1984 年至今。

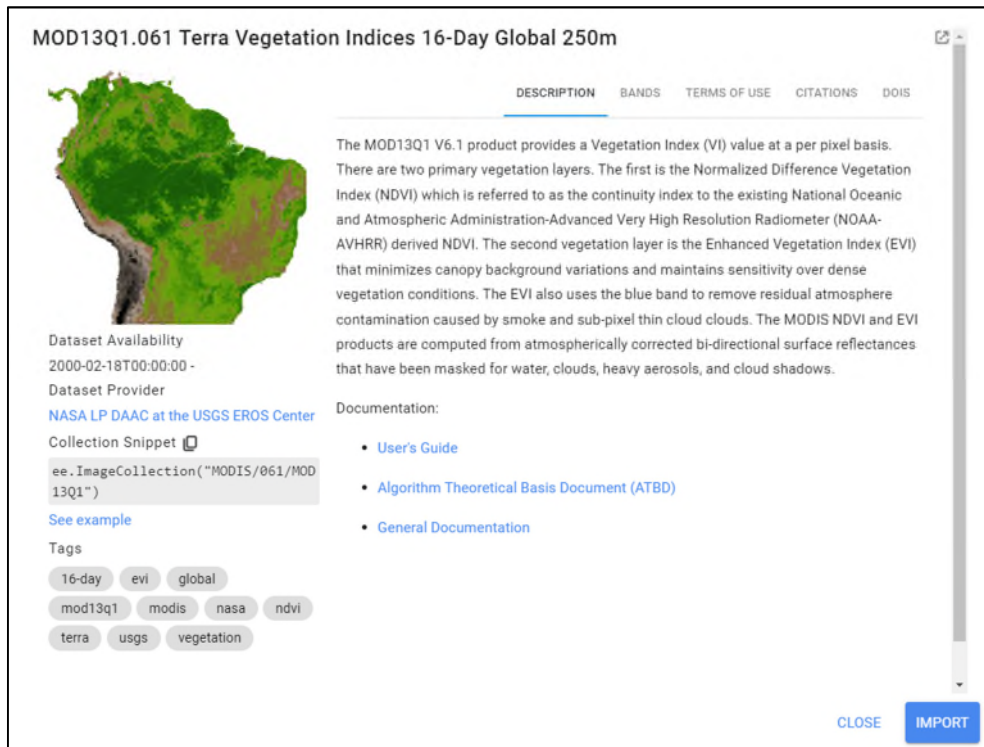


圖 2-6 Earth Engine 中的 MODIS 16 天合成(16-Day composite)資料集(MOD13Q1)

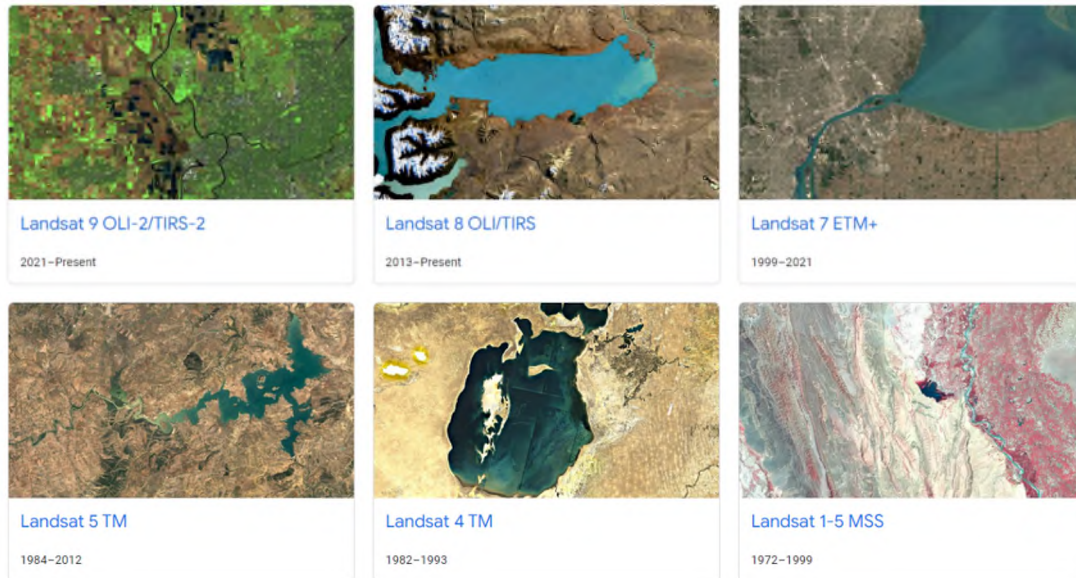


圖 2-7 Earth Engine 中的 Landsat 系列資料集

### Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A



**Dataset Availability**  
2017-03-28T00:00:00 -

**Dataset Provider**  
[European Union/ESA/Copernicus](#)

**Collection Snippet**  
`ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")`

[See example](#)

**Tags**

copernicus
esa
eu
msi
reflectance
sentinel
sr

**DESCRIPTION** BANDS IMAGE PROPERTIES TERMS OF USE

After 2022-01-25, Sentinel-2 scenes with PROCESSING.BASELINE '04.00' or above have their DN (value) range shifted by 1000. The HARMONIZED collection shifts data in newer scenes to be in the same range as in older scenes.

Sentinel-2 is a wide-swath, high-resolution, multi-spectral imaging mission supporting Copernicus Land Monitoring studies, including the monitoring of vegetation, soil and water cover, as well as observation of inland waterways and coastal areas.

The Sentinel-2 L2 data are downloaded from scihub. They were computed by running sen2cor. WARNING: ESA did not produce L2 data for all L1 assets, and earlier L2 coverage is not global.

The assets contain 12 UINT16 spectral bands representing SR scaled by 10000 (unlike in L1 data, there is no B10). There are also several more L2-specific bands (see band list for details). See the [Sentinel-2 User Handbook](#) for details. In addition, three QA bands are present where one (QA60) is a bitmask band with cloud mask information. For more details, see the [full explanation of how cloud masks are computed](#).

EE asset ids for Sentinel-2 L2 assets have the following format: COPERNICUS/S2\_SR/20151128T002653\_20151128T102149\_T56MNN. Here the first numeric part represents the sensing date and time, the second numeric part represents the product generation date and time, and the final 6-character string is a unique granule identifier indicating its UTM grid reference (see [MGRS](#)).

Clouds can be removed by using [COPERNICUS/S2\\_CLOUD\\_PROBABILITY](#). See [this](#)

[CLOSE](#) [IMPORT](#)

圖 2-8 Earth Engine 中的 Sentinel-2 資料集

## 第五節 土地覆蓋分類方法

本研究首先自政府資料開放平臺蒐集林務局民國 93 年至民國 107 年所產製之衛星影像判釋全島崩塌地圖做為依據，比對研究區域內的崩塌地是否為增加或減小的情形。若比對之時間區段有不足之處，則將以所蒐整之 Landsat 系列衛星或是 Sentinel-2 衛星影像，進行土地覆蓋分類的分析，以標記出裸露地範圍。分析過程中比較多種分類方法，包含有貝式 (Bayesian classifier) 以及 SVM 與 Random Forests 等機器學習方法。

### 一、貝式分類法(Bayesian Classifier)

貝式分類法主要透過選取訓練樣本(training samples)，計算每個像元(pixel)屬於某類別的機率值，並指定最大為該像元的分類結果，其中貝氏分類法的機率值計算可以下式表示：

$$L(X) = \frac{P_i p(X|i)}{\sum_{j=1}^c P_j p(x|j)}$$

其中， $P(X|i)$  為  $i$  類別之灰階值為  $X$  的機率， $P_i$  為  $i$  類別之事前機率，即為整幅影像中出現  $i$  類別的比例。

### 二、支援向量機(Support Vector Machine, SVM)

支援向量機(SVM)的演算法在於找到特徵空間的超平面，可令類別之間有最大的分隔。找出超平面的過程其實是一個最佳化的過程，其目標函數為使得兩個類別的邊界到超平面的距離為最短，或是可以表示為：

$$\min \left\{ \frac{1}{2} \|w\|^2 \right\}$$

以上式針對兩個類別的區分，然而現實中有許多訓練樣本可能無法完全分開，此時可將不等式與目標函數改寫為

$$y_i(W \cdot X + b) - 1 \geq \xi$$

$$\min \left\{ \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^r \xi_i \right\}$$

其中 $\xi$ 稱為鬆弛函數(slack variable)，其物理意義即為無法以超平面分開的訓練樣本到超平面的距離， $C$  則為使用者自訂參數。自從 Chang and Lin (2011)發表了 Libsvm 的程式碼後，SVM 被大量的應用於各領域，包含遙測領域進行土地覆蓋分類研究時，SVM 往往都可獲得良好的分類精確度 (Liu et al., 2016、Rana et al., 2020)。

### 三、隨機森林 (Random Forests, RF)

隨機森林(RF)是由 Leo Breiman 於 2001 年提出，近十年已有許多研究使用隨機森林法對衛星影像進行分類，並獲得良好的精確度 (Zhang and Yang, 2020、Abdi, A.M., 2020, Cilli, et al., 2020)。隨機森林的演算法建立在決策樹(decision tree)的基礎之上，並以隨機取樣後放回的重複取樣方式(Bootstrapping)，由原始訓練本中重複取樣(resample)出多組具有相似統計特性的訓練樣本，每組 Bootstrap sample 將有各自的決策樹系統，隨機森林結合多系統而形成一個如森林般龐大的分類器，每個決策樹會有一個分類結果，隨機森林則綜整每個決策樹的分類結果，採用多數決的投票方式(majority voting)，將最多票的分類結果指定給該像元。由於 RF 在每個決策樹的節點(node)均採用隨機選取特徵，因而使得 RF 具有不易過度擬合(overfitting)的特點。

## 第六節 植生回復指標

本研究提出由多年期的植生指標(例如：NDVI)時間序列，若崩塌在某個時間點發生時，NDVI 數值將大幅下降，而經過一段時間的復原之後，NDVI 數值將緩緩回復到平常的平均水準(如圖 2-9)。當崩塌發生時，NDVI 數值下降的幅度反映出山坡地受到的衝擊程度(Impact)，而回復速度越快，代表著 NDVI 數值在較短的時間內重新回復到平常的水準。根據前述山坡地植生回復的特性，本研究定義植生回復指標如下：

$$\text{Impact} = VI_o - VI_{\min}$$
$$VRI = \frac{VI_T - VI_{\min}}{VI_o - VI_{\min}}$$

其中 $VI_o$ 為災前平均植生指標， $VI_{\min}$ 為災後所歷經的最小植生指標， $VI_T$ 則為任一時間點 T 的植生指標。

植生指標自災後快速來到最低點，復原的過程實際上是逐漸的上升，為描述此上升的歷程，本研究採用冪次函數(power function)描述此復原過程，如下式

$$VI = cT^S$$

或可表示為：

$$\log(VI) = \log(c) + S \cdot \log(T)$$

其中，c 為常數項，T 為時間，S 為冪次項，主要描述 VI 隨時間增加的速度，c 與 S 都是代表植生回復速率的重要指標。

植生回復速度(Recovery Rate, RR)越快也反映出該地區的生態體質較佳，本研究定義植生回復速度為：

$$RR = \frac{VI_T - VI_{\min}}{T}$$

其中  $T$  為植生指標從災害發生到植生完全回復或是回復到災前平均植生指標( $VI_o$ )的 90%所需的時間，如圖 2-9。

此處的植生指標(VI)為正規差植生指標(Normalized Differential Vegetation Index, NDVI)或強化植生指標(Enhanced Vegetation Index, EVI)，其計算式可分別表示為：

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

$$EVI = 2.5 \times \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + 6 \cdot \rho_{RED} - 7.5 \cdot \rho_{BLUE} + 1}$$

其中， $\rho_{NIR}$ 、 $\rho_{RED}$ 、 $\rho_{BLUE}$ 分別為近紅外光、紅光、藍光之反射率。

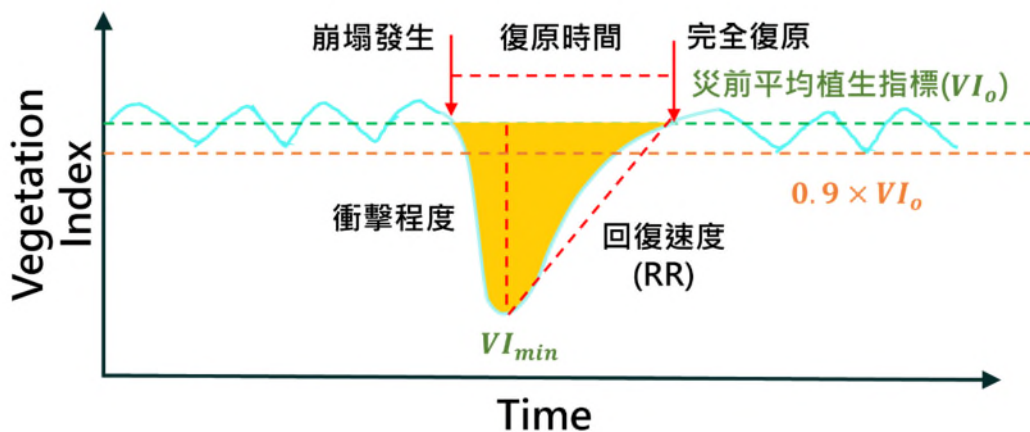


圖 2-9 植生回復指標示意圖



## 第三章 結果與討論

### 第一節 歷年山區崩塌地分析

為了解台灣山區歷年崩塌造成的裸露地分布趨勢，本研究使用農委會林務局委託成功大學產製的衛星判釋全島崩塌地圖，所建立的 2004 年至 2018 年之崩塌目錄計算子集水區內之崩塌率(ratio of landslide)，其定義為子集水區內崩塌地佔子集水區之總面積百分比，因此各子集水區可取得一時間序列。

本研究分析各子集水區之崩塌率隨時間改變之趨勢，以時間為自變數(independent variable)，崩塌率為應變數(dependent variable)進行迴歸，結果發現中部與南部山區有非常多的子集水區斜率為正(圖 3-1)，在 839 個子集水區中有 321 個子集水區斜率為正，面積約佔全台總面積的 43.1%(圖 3-2)，若只看海拔高度大於 100 公尺的地區，環境劣化的面積佔比更高達了 55%，顯示許多子集水區整體林地生長環境都在劣化的趨勢上，此訊息在自然環境保育與坡地災害防治上是非常重要的警訊。

林地的生長狀態是動態的、是具備回復力的，若檢視各子集水區崩塌率於 2004 年至 2018 年之時間序列時，可以發現前述林地劣化斜率高，並不表示該子集水區在此期間為不斷劣化，例如：圖 3-3 為劣化斜率最大的三個子集水區，可以發現三個子集水區均受到 2009 年

8 月的莫拉克颱風造成 2010 年的崩塌率上升許多，然而三個子集水區在 2010 年後的變動卻不盡相同，利基山子集水區在莫拉克之後造成的崩塌率，遲遲沒有回復的跡象，太麻里溪流域內的斗里斗里溪則是在莫拉克颱風之後，崩塌率有逐漸下降，然而到了 2017 年與 2018 年又逐漸上升，其原因與 2016 年 7 月的尼伯特颱風有關，事實上此三個子集水區均位於尼伯特颱風經過台灣的路徑附近(請見圖 3-4)。

在高雄市高屏溪的勤和子集水區則顯示在莫拉克颱風之後，崩塌率回復到 13%左右即沒有明顯的增加或減少的趨勢。由此可見，雖然崩塌率之斜率在 2004 年至 2018 年之間雖然為正值，但其可能受到莫拉克這樣的重大災害影響甚鉅，吾人仍需仔細檢視後續之植生回復情形。

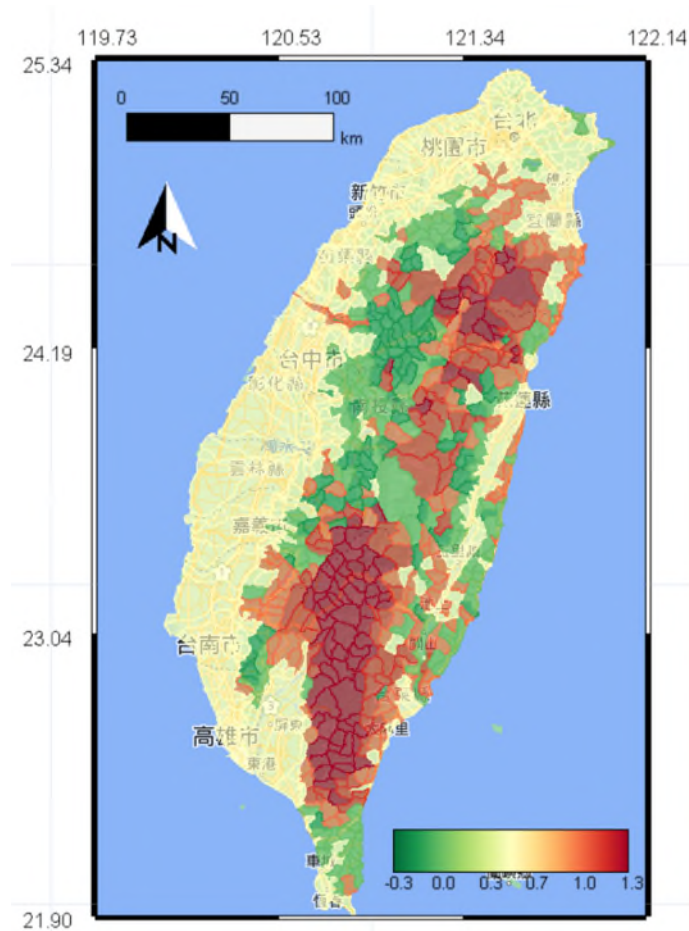


圖 3-1 全台 839 個子集水區崩塌率隨時間變化之趨勢，顏色越呈現紅色表示崩塌率之趨勢為增加，綠色則表示崩塌率之趨勢為逐年減少，黃色則表示崩塌率並未明顯的增加或減少

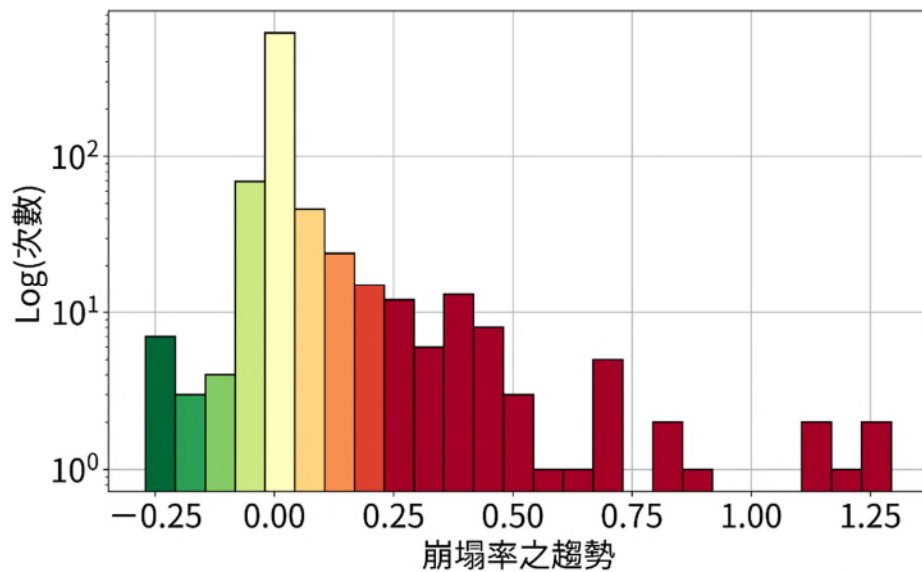


圖 3-2 全台 839 個子集水區崩塌率隨時間變化趨勢之歷線圖 (Histogram)，紅色為崩塌地增加趨勢，綠色為崩塌地減少趨勢，黃色則為平衡狀態。為清楚呈現次數統計，Y 軸設定為對數軸

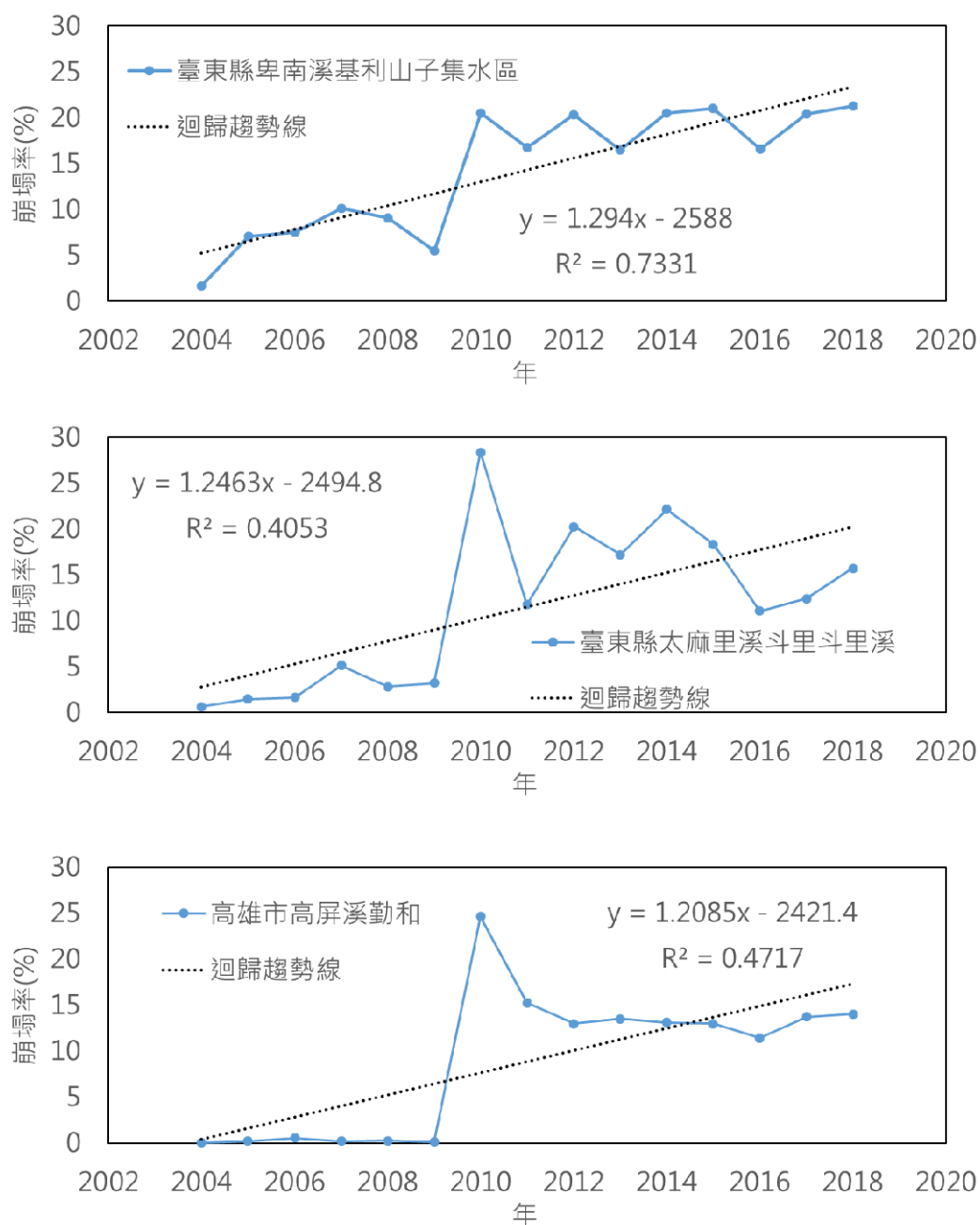


圖 3-3 崩塌率隨時間變化斜率最大的三個子集水區

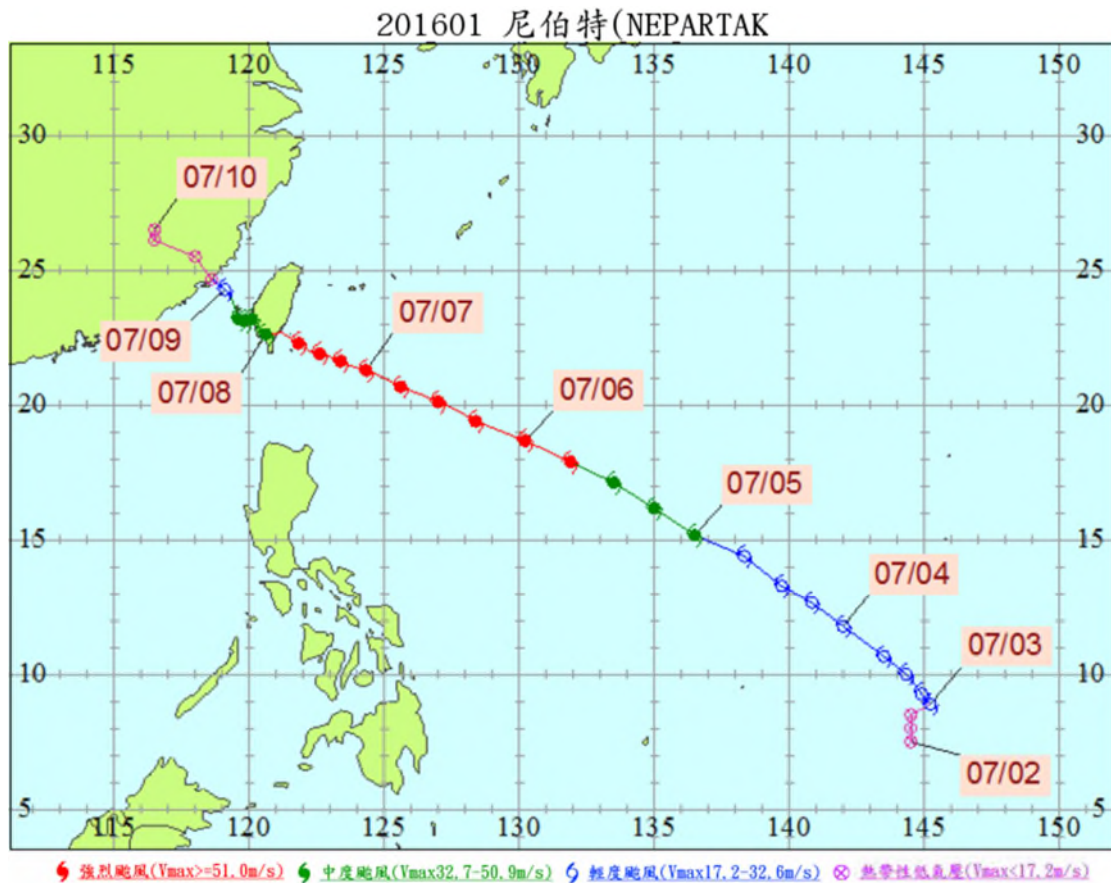


圖 3-4 尼伯特颱風(2016)路徑圖(資料來源：中央氣象局)

## 第二節 衛星影像資料蒐整與前處理

### 一、MODIS衛星影像前處理

依前述計畫工作項目規劃，本研究採用 NASA 所產製的 MODIS 衍生產品(MOD13Q1.061 Terra Vegetation Indices 16-Day Global 250m)主要針對正規化植生指標(NDVI)資料進行分析。此衍生產品經過 16 天影像的合成(composition)，此合成法是以像元為分析基礎，因此每個像元所得到的合成結果，彼此之間不會來自同一天所拍攝的影像。此合成方法仍有其限制，例如：16 天中 MODIS 影像拍攝期間，某像

元都有雲層的覆蓋，則所產製的合成結果，將無法完全避免雲遮的影響。經檢視 MOD13Q1 產品中的影像品質波段(Quality Assessment, QA)，並分析 2001 年至 2022 年 9 月 30 日之間共計有 501 幅影像中，在全台範圍中，由 QA 資訊發現受到雲遮影響的區域主要位於平地的都市區，如圖 3-5 中的白色區域。整個台灣地區約有 71% 的區域，在時間尺度上低於 25% 的影像受到雲遮影響，而觀察圖 3-5 可發現許多白色區域位於平地地區，若只看海拔高度大於 100 公尺的區域(使用 SRTM 30 公尺解析度之數值高程資料)，則有 80% 的區域，在時間尺度上低於 25% 的影像受雲遮影響(圖 3-6)。

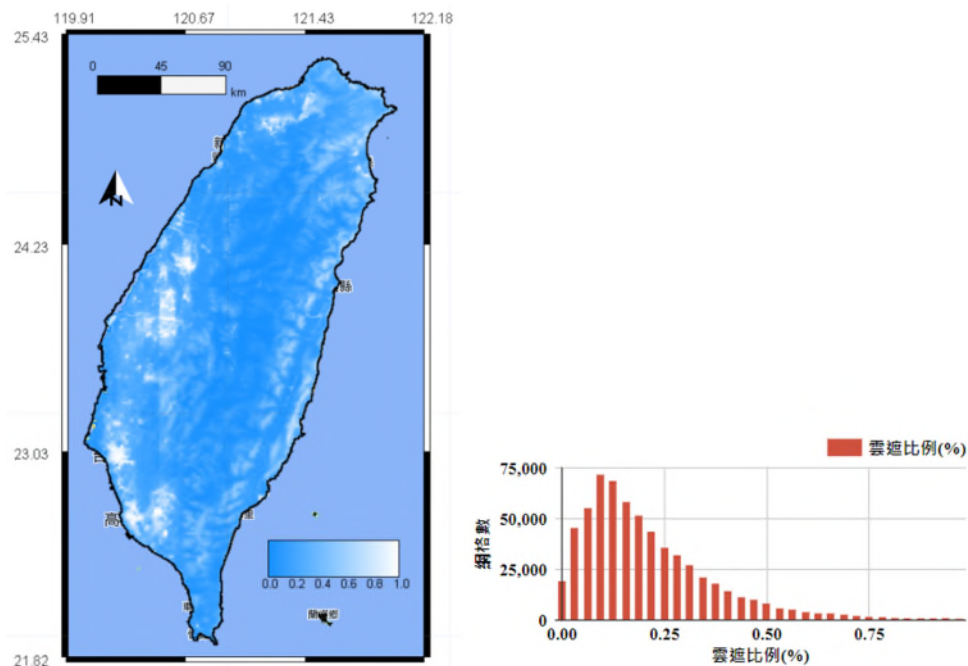


圖 3-5 MOD13Q1 資料集受到雲遮影響的比例

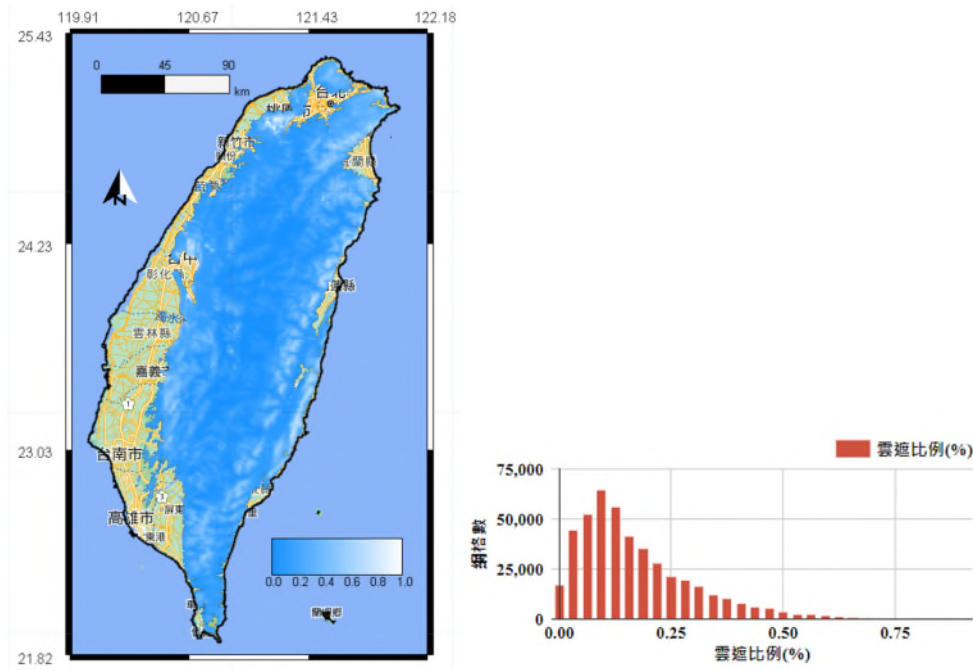


圖 3-6 海拔大於 100 公尺的區域中，MOD13Q1 資料集受到雲遮影響的比例

## 二、Landsat 系列影像資料整理

儘管 Landsat 系列衛星的影像帶寬達 185 公里，但由於軌道設定的關係 Landsat 系列衛星影像在台灣地區約需要七個圖幅(tiles)才能完整覆蓋(如圖 3-7 所示)，因此各系列衛星影像需各別的在空間上進行整併(merge)，其中軌道編號(WRS\_PATH)117 與 118 為不同日期所拍攝之軌道。

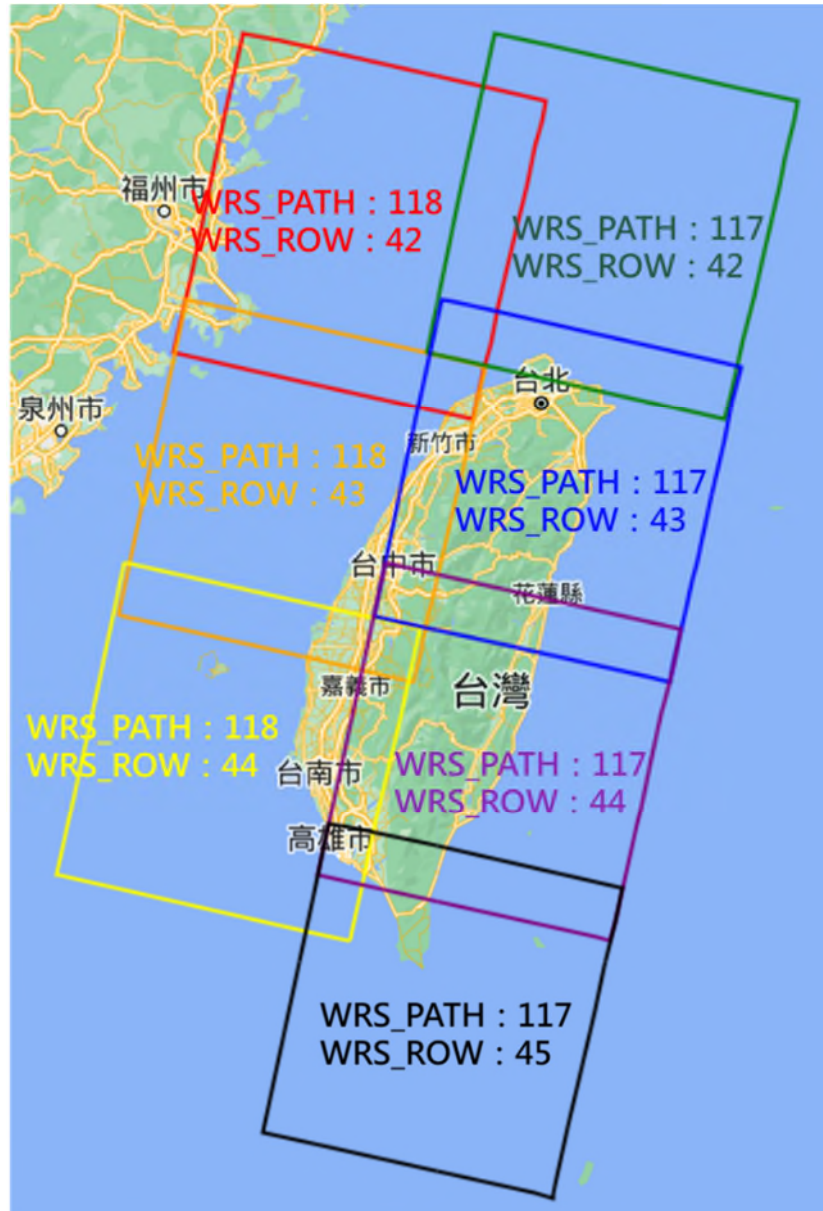


圖 3-7 Landsat 系列衛星各圖幅(tile)之覆蓋範圍

由於在 GEE 中，Landsat-5、Landsat-7、Landsat-8 與 Landsat-9 分別為不同資料集(圖 2-7)，必須經過資料集的整併(merge)，才可進行後續的植生指標計算與時間序列分析。由於 Landsat-5 與 Landsat-7 的光學感測器分別為 Thematic Mapper (TM)與 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)，與 Landsat-8 及 Landsat-9 的光學感測器

(Operational Land Imager, OLI)不同，因此參考 Roy 等人(2016)所建立 Landsat-7 ETM+與 Landsat-8 OLI 的轉換關係，將 Landsat-7 的各波段影像轉換至與 Landsat-8 OLI 相同。其間之轉換關係如下：

$$\text{Blue: OLI} = 0.0003 + 0.8474\text{ETM} +$$

$$\text{Green: OLI} = 0.0088 + 0.8484\text{ETM} +$$

$$\text{Red: OLI} = 0.0061 + 0.9047\text{ETM} +$$

$$\text{NIR: OLI} = 0.0412 + 0.8462\text{ETM} +$$

$$\text{SWIR1: OLI} = 0.0254 + 0.8937\text{ETM} +$$

$$\text{SWIR2: OLI} = 0.0172 + 0.9071\text{ETM} +$$

整併 Landsat 5、7、8、9 後的 Landsat 資料集即可用於計算 NDVI

指標，圖 3-8 為選取小林村鄰近區域的植生指標時間序列。

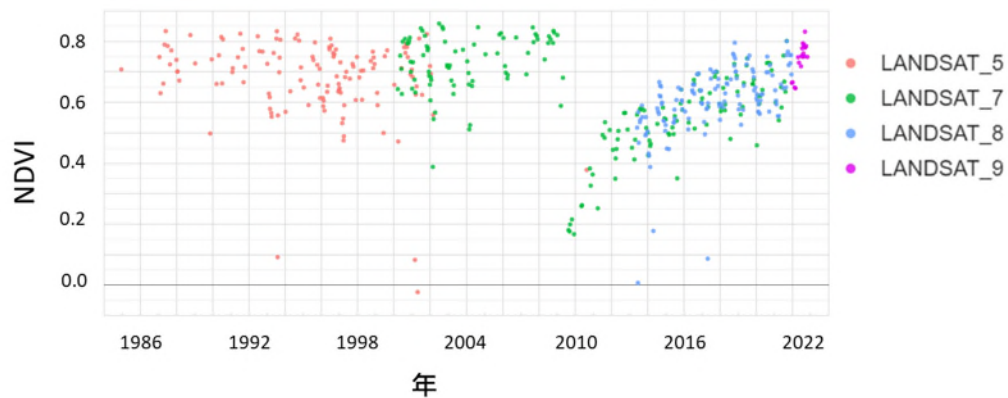


圖 3-8 GEE 中融合 Landsat-5、Landsat-7、Landsat-8 與 Landsat-9 之 NDVI 序列

### 三、Sentinel-2影像資料整理

Sentinel-2 的原始影像拍攝之帶寬(swath)為 290 公里，但在處理為正射影像產品(orthorectified products)時，將每個圖幅調整為長寬皆

為 100 公里，因此台灣本島地區必須至少 7 個圖幅才能完整覆蓋，本研究整理了 12 個涵蓋台灣範圍的圖幅編號(如圖 3-9 所示)。

由於 Sentinel-2 影像的拍攝為自 2015 年開始，與 MODIS 與 Landsat 系列衛星相比的拍攝年期較短，因此在本研究中的主要用途在於補充 Landsat 資料集，例如：若 Landsat 的分析中受到雲遮影響，可自 Sentinel-2 影像搜尋是否有適當之影像。本研究使用 Sentinel-2 產製之土地覆蓋分類影像請參見附錄五，而整理之 Sentinel-2 較無雲之影像則列於附錄六供參考。

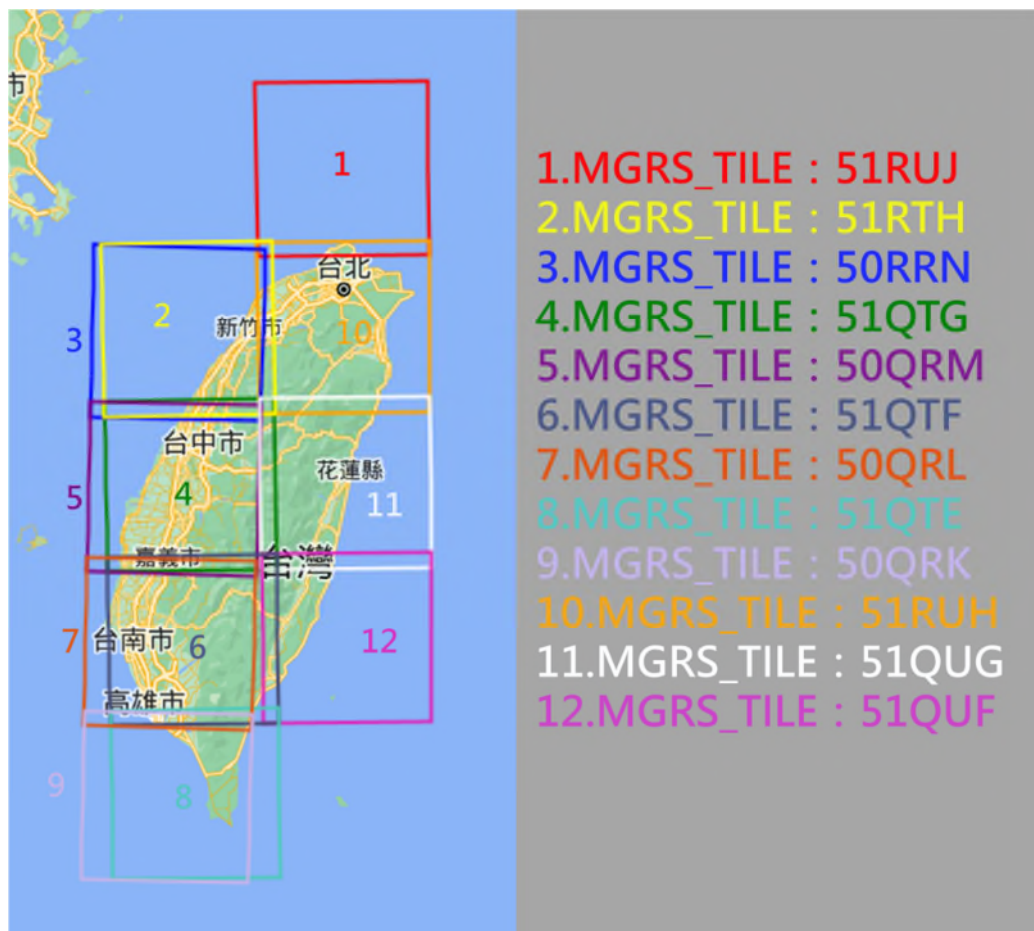


圖 3-9 Sentinel-2 圖幅編號覆蓋範圍

### 第三節 植生指標時間序列分析

本小節說明使用 GEE 分析植生指標時間序列之成果，包含原始時間序列取得後所進行的各項分析成果，首先以 MODIS 影像為例說明，接續則為 Landsat 系列影像分析結果說明。本小節以高雄市甲仙區的小林村為例，其他案例說明則在第三小節。

#### 一、MODIS影像分析成果

前述 MODIS 產品雖然經過 16 天的最大值合成(MVC)，合成後的植生指標產品仍有一部分的影像受到雲遮影響，例如：長達十多日的雲遮，在台灣部分地區是可能發生的，這種情形會在 NDVI 時間序列上產生一個突然向下又馬上回復的突波(spike)，如圖 3-10 紅圈處所示。

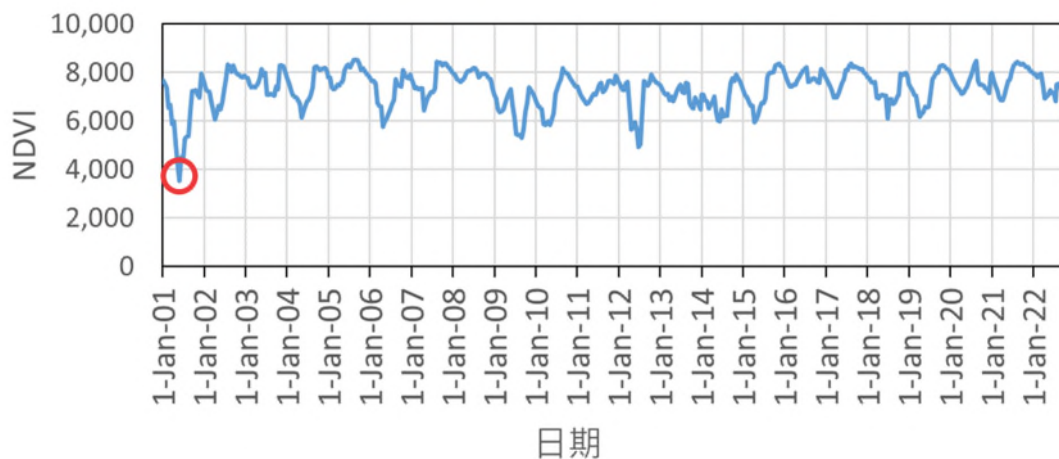


圖 3-10 MODIS 影像中受雲遮影響造成的時間序列突波

為減少雲遮的影響，在以網格為基礎的時間序列分析時，採用移動平均(moving average)的方式，移動窗框(moving window)的大小則設置為 23，此窗框大小正好對應 16 天影像的一年週期，在此窗框內取平均，不僅可減少雲遮造成 NDVI 降低的影響，同時可大幅的減低季節變動特性。圖 3-11 中可發現原始植生指標時間序列含有較明顯的變動，而移動窗框大小為 7 時，時間序列變得較為平滑但仍可看見清楚的季節變動；而移動窗框大小為 23，則可發現季節變動特性已大幅減少。使用移動平均方法的最大好處即在於不須額外的進行時間序列分解方法，區分出變動趨勢、季節特性與殘差等項目即可以移動平均處理後的 NDVI 時間序列，進行後續的植生回復分析。

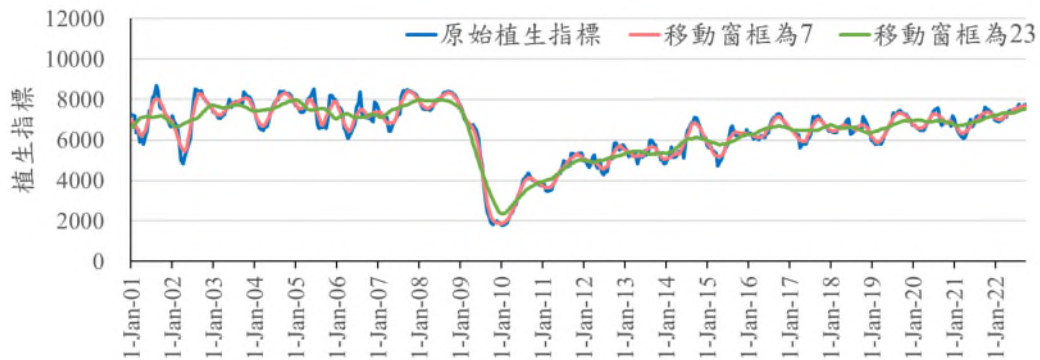


圖 3-11 植生指標時間序列計算移動平均，不同窗框大小之差異

在接續的植生回復的分析中，主要針對莫拉克颱風之後對台灣山區所造成的衝擊進行分析。以 NDVI 計算莫拉克颱風對於坡地植生的衝擊程度(Impact)與植生回復特性。本研究將植生指標時間序列

分為兩群，第一群是為莫拉克颱風之前(2001 年至 2008 年)，第二群為莫拉克颱風之後(2009 年至 2022 年)。莫拉克前的資料用於計算平均的植生狀態，莫拉克颱風後的資料則選擇 2009 年中的最小 NDVI 值，衝擊程度則為災前的 NDVI 平均值與災後當年度(2009)最小 NDVI 的差值。圖 3-12 為莫拉克颱風後 NDVI 指標之衝擊量，可以發現小林村崩塌地大範圍崩塌的區域受到的衝擊最大，災前 NDVI 平均值約為 0.75，災後 NDVI 降為約 0.2。莫拉克颱風後，植生逐漸回復的情形如圖 3-13 所示，從圖中可以發現在衝擊大的地方，迴歸模型的冪次項(S)較大，反之，常數項(C)則較小，而在迴歸模型的判定係數(R-square)數值部分，則大部分均大於 0.5，少數小於 0.5 的地區，如圖 3-13(e)，主要是因為該處並未受到嚴重衝擊，因此 NDVI 序列均維持在穩定的水準，因此迴歸模式對這樣的序列解釋程度並不如資料本身的變異程度，造成判定係數較低。以小林村為例，莫拉克颱風所造成的崩塌地，以植生指標而言，回復到災害發生之前的平均水準的 90%，約需要 10 年至 12 年不等的時間。然而，必須強調的是植生指標的回復並不表示林地的生態服務功能回復到相同水準。

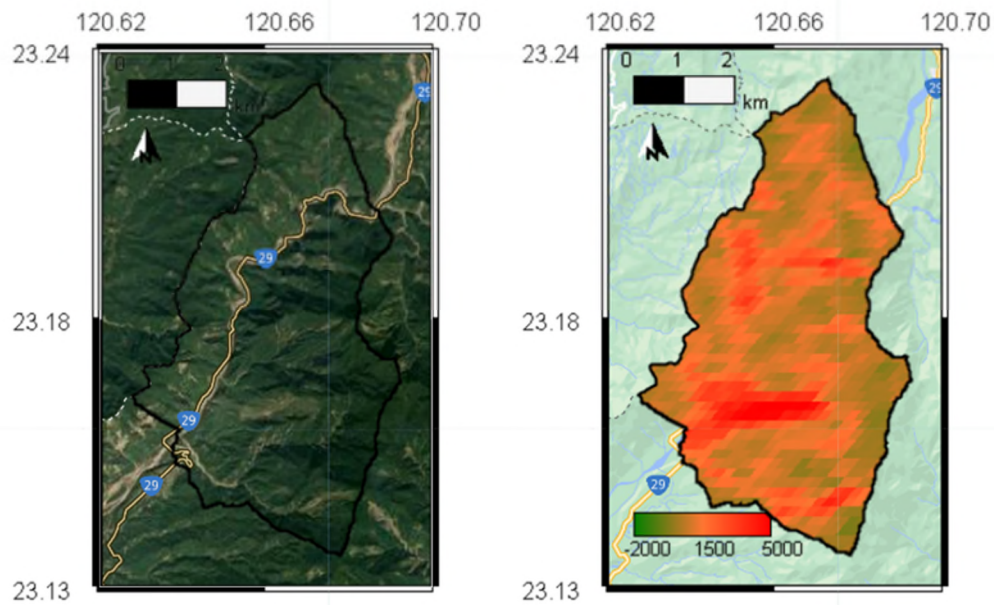


圖 3-12 高雄市甲仙區小林村所在之子集水區受到莫拉克颱風造成之衝擊量，其數值為 NDVI(乘 10000)之差異，資料為 MODIS 系列

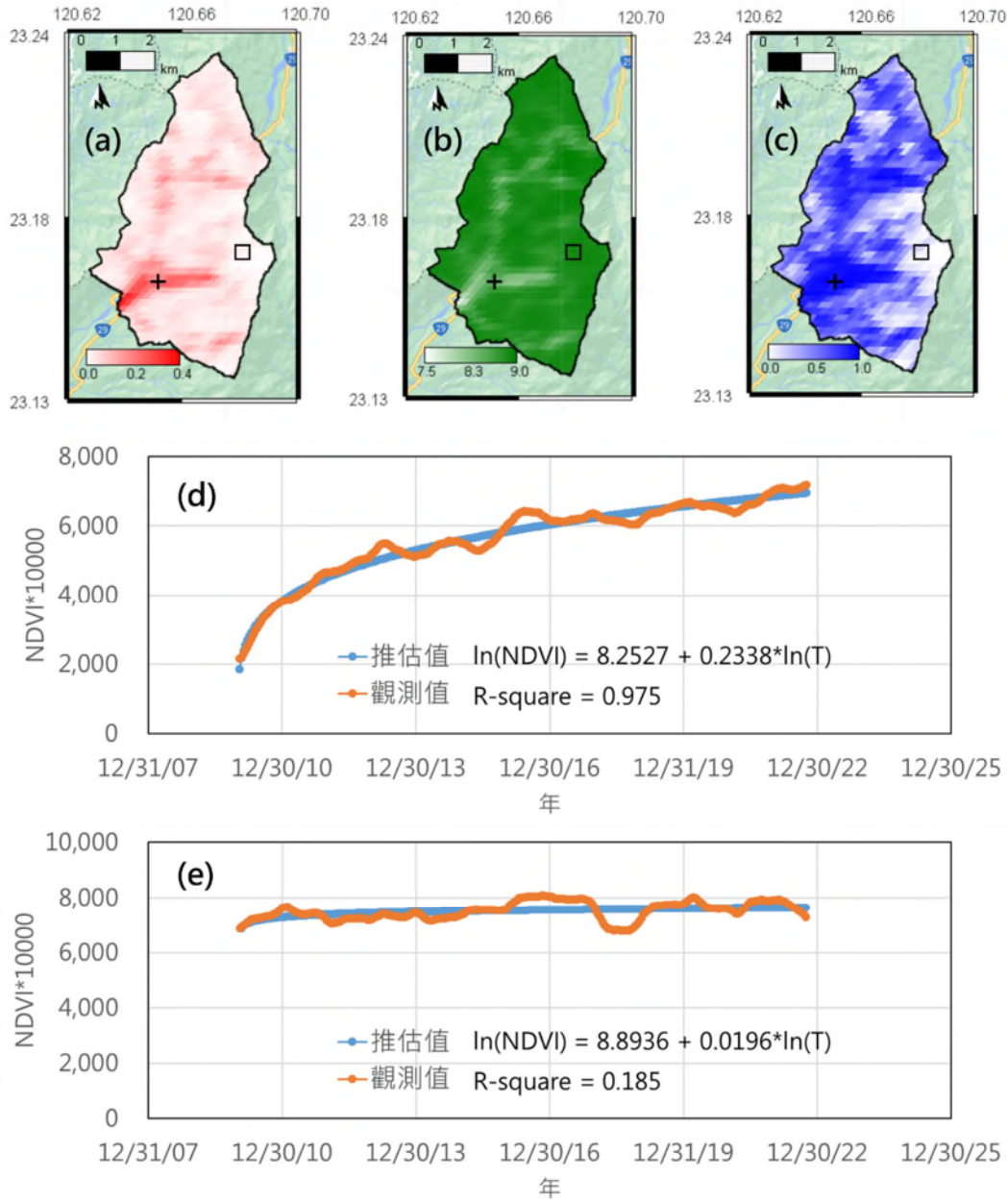


圖 3-13 高雄市甲仙區小林村所在之子集水區莫拉克颱風之後回復模型之參數，資料為 MODIS 衛星，(a)為冪次項(S)；(b)為常數項 (log(c))；(c)為判定係數(R-square)；(d)黑色十字所在網格之時間序列與套配模式；(e) 黑色方格所在網格之時間序列與套配模式

## 二、Landsat 系列影像分析成果

以 Landsat 系列衛星影像分析同一個子集水區的分析結果如圖 3-14 與圖 3-15 所示。比較圖 3-12 與圖 3-14 可發現，Landsat 所分析的植生受到莫拉克颱風的衝擊，能夠呈現出更多細節。在植生回復模式套配上，冪次項(S)與常數項(log(c))也可更清楚看到冪次項(S)較大，反之，常數項(C)則較小的趨勢，同樣判定係數大部分區域均大於 0.5。從植生回復模式套配的結果來看，模式參數與 MODIS 的結果也很接近。然而 Landsat 資料與 MODIS 資料相比有一個主要的缺點，由於 Landsat 影像每 16 天只有一張影像，容易受到雲遮影響，造成每個網格可分析的數量不同。然而，MODIS 影像為 16 天合成影像，大幅減少雲遮的影響，套配模式時每個網格的資料點數都一樣多。

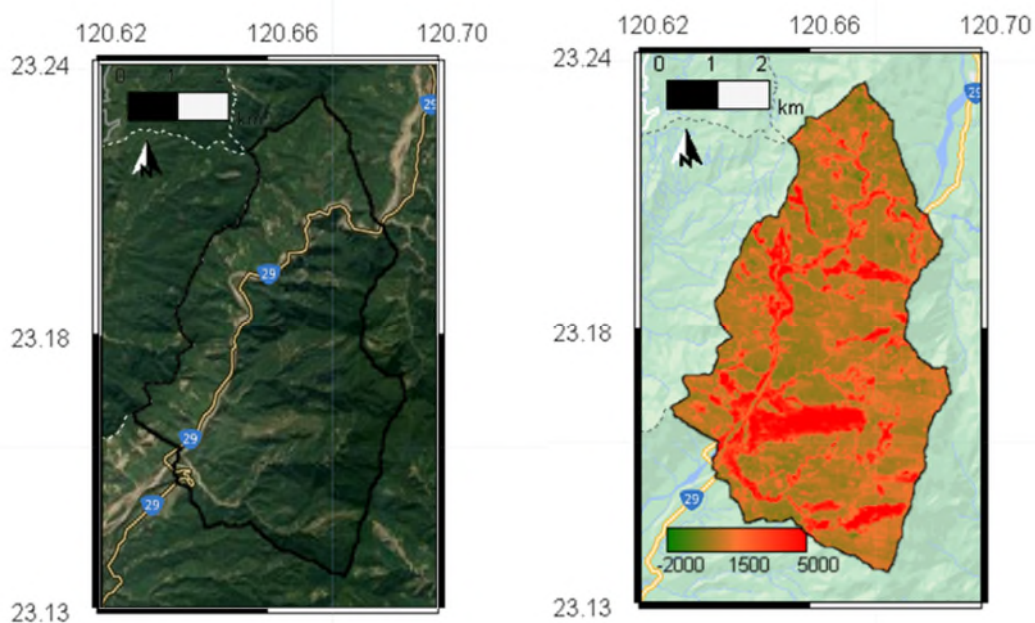


圖 3-14 高雄市甲仙區小林村所在之子集水區受到莫拉克颱風造成之

衝擊量，其數值為 NDVI(乘 10000)之差異，資料為 Landsat 系列

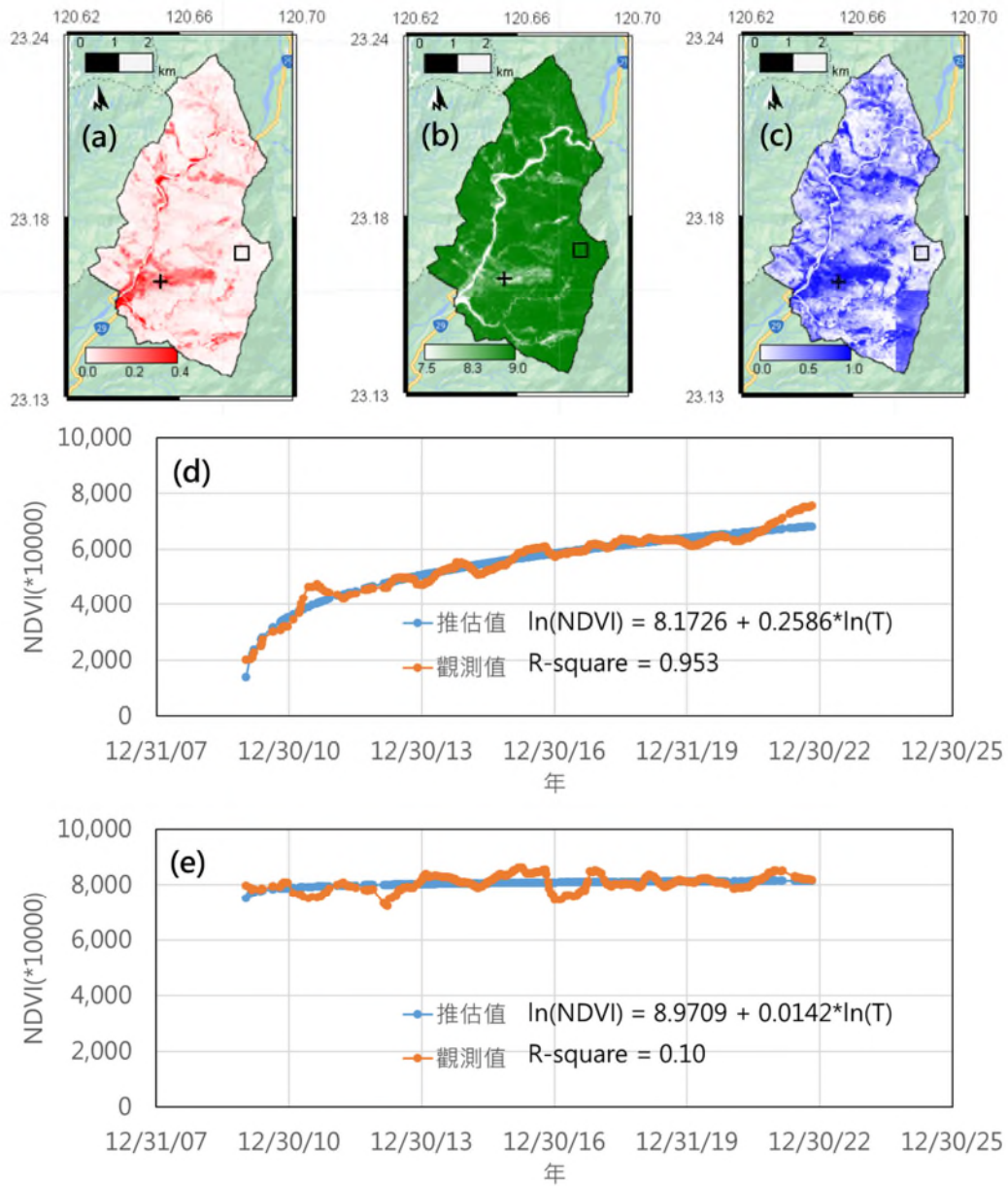


圖 3-15 高雄市甲仙區小林村所在之子集水區莫拉克颱風之後回復模型之參數，資料為 Landsat 系列影像，(a)為冪次項(S)；(b)為常數項(log(c))；(c)為判定係數(R-square)；(d)黑色十字所在網格之時間序列與套配模式；(e) 黑色方格所在網格之時間序列與套配模式

## 第四節 案例分析

按前述流程分析全台之坡地時，挑選十處崩塌地作為研究案例，挑選時除參考本章第一節的崩塌率變化趨勢之外，亦參考 36 處大規模崩塌潛勢區之圖層。表 3-1 為針對 36 處大規模崩塌潛勢區，計算其所在的子集水區中，崩塌率隨時間變化之斜率，結果顯示有 13 處大規模崩塌潛勢區所在的子集水區，歷年的崩塌率逐年有較明顯的增加趨勢(斜率約大於 0.03)。有鑑於此，本研究選擇該 13 處所在之子集水區作為分析案例。

### 一、屏東縣來義鄉來義聚落

位於屏東縣來義鄉的來義聚落，該聚落在 36 處大規模崩塌潛勢區之危險等級為中度風險，但 2004 年至 2018 年之間的崩塌率，卻是上升斜率最快的，每年約增加 0.29%，但自莫拉克颱風後已逐年下降中(圖 3-16)。由 MODIS 影像分析可發現，沿來義聚落旁的溪流往上游的兩岸處有許多崩塌地，這些植生的回復情形如圖 3-17。

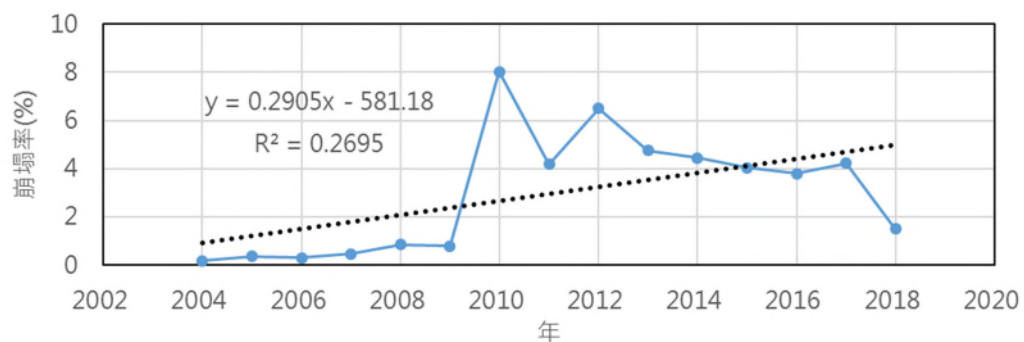


圖 3-16 屏東縣來義鄉來義聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢

表 3-1 36 處大規模崩塌潛勢區(依崩塌率斜率排序)

| 編號 | 潛勢溪編號         | 名稱        | 風險 | 崩塌率斜率  |
|----|---------------|-----------|----|--------|
| 25 | 屏東縣-來義鄉-T001  | 來義聚落      | 中  | 0.290  |
| 23 | 屏東縣-霧臺鄉-D038  | 光明巷       | 高  | 0.236  |
| 24 | 屏東縣-霧臺鄉-T002  | 阿禮部落      | 高  | 0.236  |
| 8  | 宜蘭縣-大同鄉-T002  | 太平村宜專一    | 中  | 0.228  |
| 22 | 高雄市-桃源區-D382  | 寶山聚落      | 低  | 0.154  |
| 13 | 南投縣-仁愛鄉-D066  | 廬山部落      | 高  | 0.079  |
| 26 | 臺東縣-延平鄉-T002  | 紅葉村 3 鄰部分 | 中  | 0.047  |
| 27 | 臺東縣-延平鄉-T001  | 紅葉聚落      | 中  | 0.047  |
| 30 | 臺東縣-大武鄉-D021  | 大鳥聚落      | 高  | 0.044  |
| 31 | 臺東縣-大武鄉-D022  | 大鳥聚落      | 高  | 0.044  |
| 21 | 高雄市-茂林區-D048  | 萬山聚落      | 中  | 0.035  |
| 10 | 臺中市-和平區-D036  | 松茂聚落      | 中  | 0.034  |
| 16 | 嘉義縣-阿里山鄉-D098 | 公興村聚落     | 中  | 0.034  |
| 17 | 嘉義縣-番路鄉-D004  | 隙頂聚落      | 高  | 0.029  |
| 3  | 桃園市-復興區-D052  | 上巴陵聚落     | 高  | 0.006  |
| 18 | 嘉義縣-中埔鄉-T002  | 東興村八寶寮    | 低  | 0.005  |
| 20 | 高雄市-杉林區-D021  | 新莊聚落部分    | 中  | 0.004  |
| 29 | 臺東縣-太麻里鄉-D029 | 多良聚落      | 高  | 0.002  |
| 1  | 新北市-石碇區-T001  | 華梵大學      | 中  | 0.001  |
| 28 | 臺東縣-太麻里鄉-D003 | 三和秀山與華    | 高  | 0.000  |
| 15 | 嘉義縣-梅山鄉-T001  | 幼葉林聚落     | 高  | -0.001 |
| 33 | 花蓮縣-卓溪鄉-D010  | 卓溪聚落      | 中  | -0.001 |
| 19 | 嘉義縣-竹崎鄉-T003  | 白杞村部分住    | 中  | -0.003 |
| 32 | 花蓮縣-卓溪鄉-D007  | 太平聚落      | 中  | -0.003 |
| 4  | 新竹縣-五峰鄉-D024  | 茅圃聚落      | 高  | -0.007 |
| 6  | 新竹縣-尖石鄉-D077  | 泰崗聚落      | 中  | -0.008 |
| 36 | 新竹縣-尖石鄉-T001  | 秀巒部落      | 高  | -0.008 |
| 11 | 臺中市-和平區-D052  | 梨山聚落      | 中  | -0.009 |
| 12 | 臺中市-和平區-T003  | 新佳陽地滑區    | 高  | -0.009 |
| 2  | 桃園市-復興區-D021  | 義興部落      | 中  | -0.010 |
| 34 | 花蓮縣-玉里鎮-D018  | 溫泉聚落部分    | 低  | -0.010 |
| 5  | 新竹縣-尖石鄉-D052  | 梅花部落      | 中  | -0.015 |
| 9  | 臺中市-和平區-D016  | 達觀聚落部分    | 低  | -0.024 |
| 35 | 桃園市-復興區-T002  | 光華        | 低  | -0.033 |
| 7  | 新竹縣-尖石鄉-D097  | 鎮西堡聚落部    | 高  | -0.041 |
| 14 | 南投縣-國姓鄉-T002  | 南港村聚落     | 中  | -0.054 |

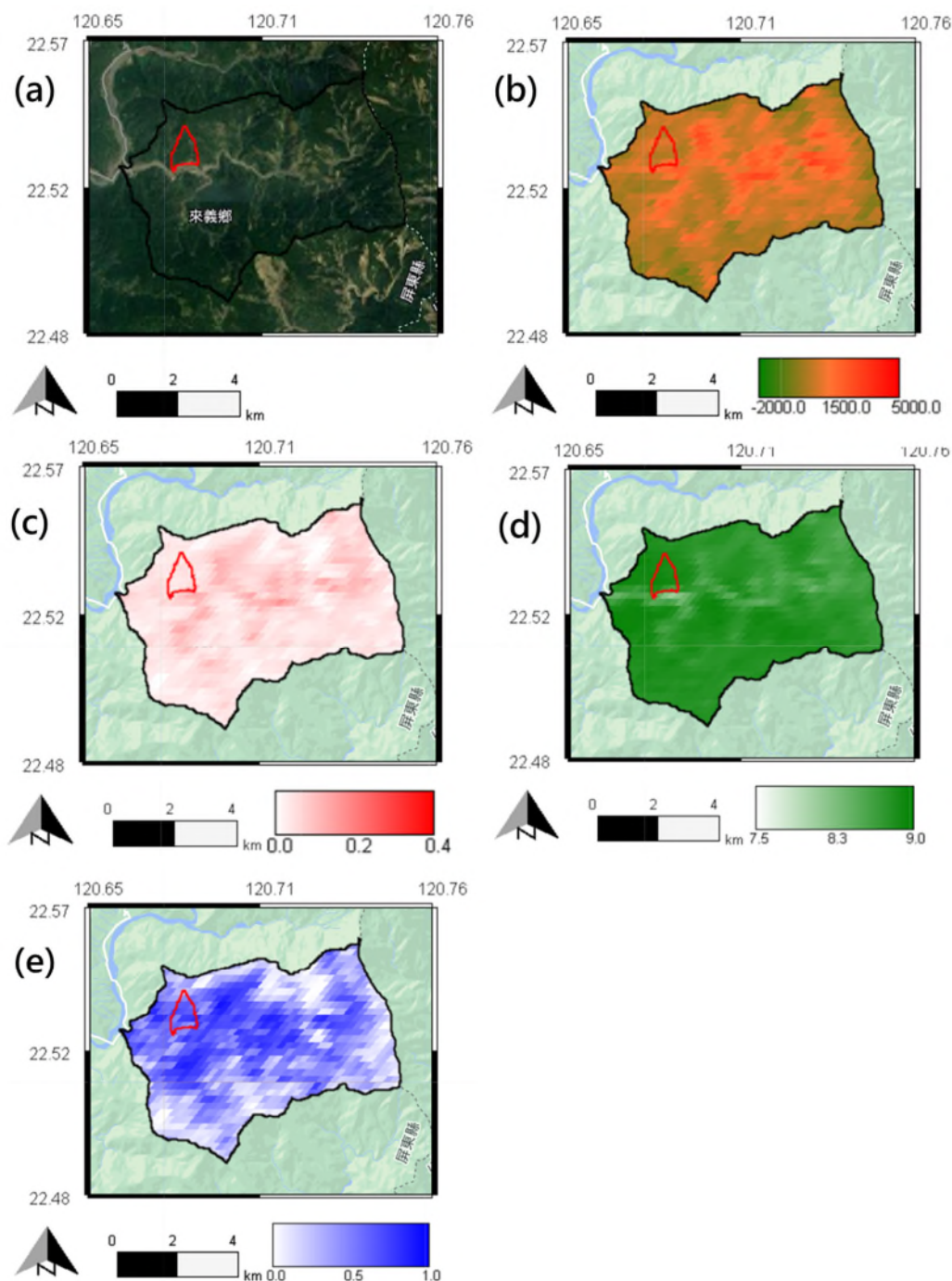


圖 3-17 屏東縣來義鄉來義聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果  
 (a)來義聚落與所在子集水區；(b)莫拉克颱風後所受衝擊；(c)回復模式  
 冪次項；(d)回復模式常數項；(e)回復模式判定係數

## 二、屏東縣霧台鄉光明巷與阿禮聚落

位於屏東縣霧台鄉的光明巷與阿禮聚落，在大規模崩塌潛勢區之危險等級屬於高度風險。這兩個區域所在的子集水區近年的崩塌率變化也是增加的趨勢，但莫拉克颱風後逐漸的下降中，目前已趨近於平緩(圖 3-18)。圖 3-19 為這兩個區域在莫拉克颱風後所受的衝擊，以及植生回復模式套配結果。位於較北方的是光明巷，南方較大範圍的則是阿禮部落。

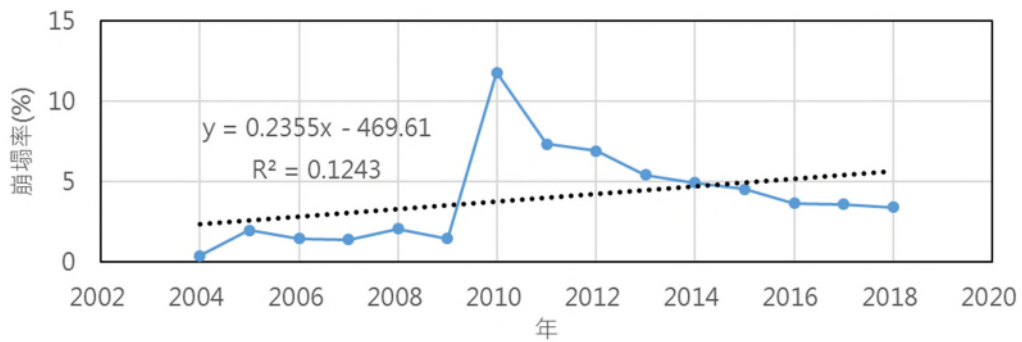


圖 3-18 屏東縣霧台鄉光明巷與阿禮聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢

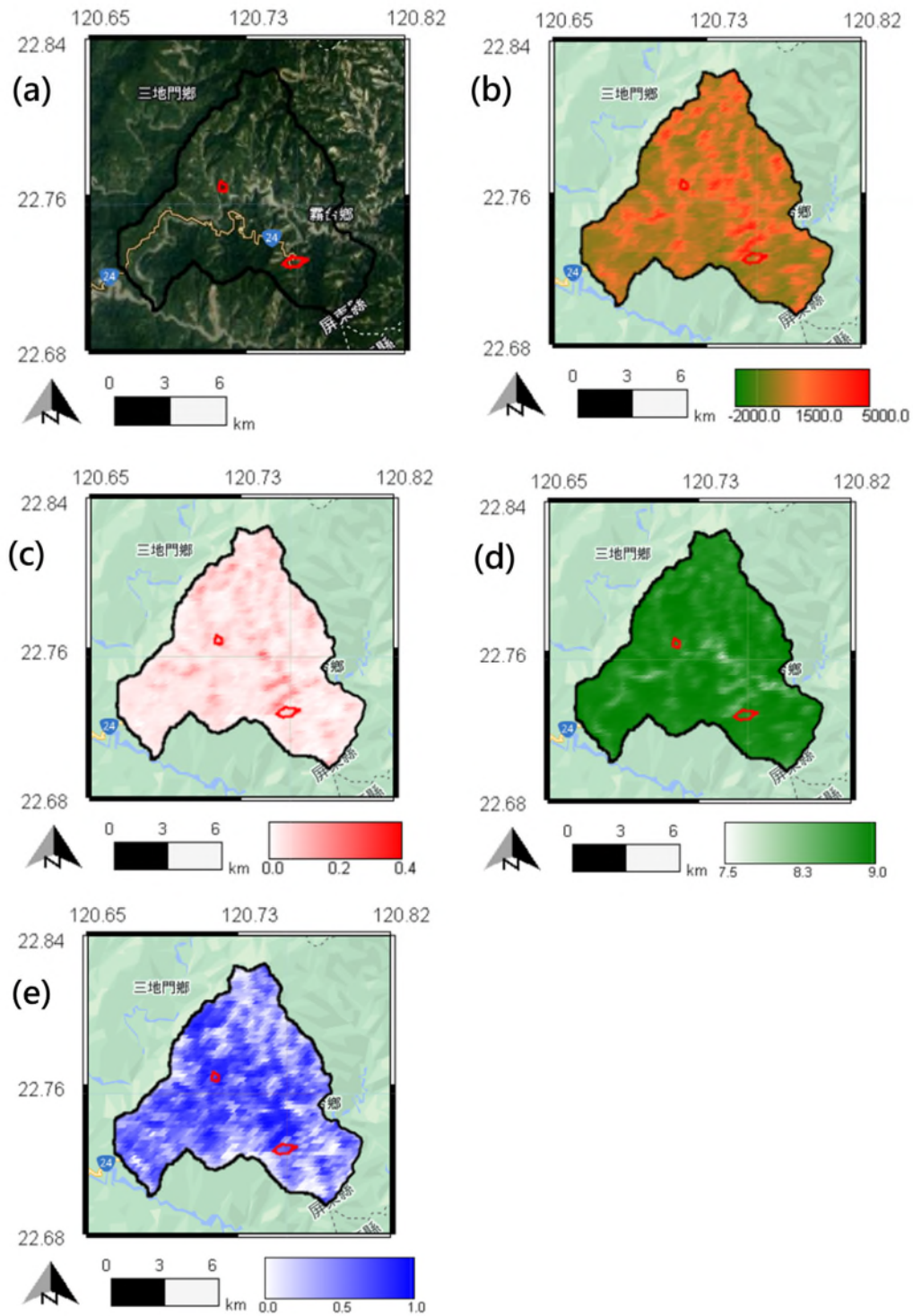


圖 3-19 屏東縣霧台鄉的光明巷與阿禮聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果(a)光明巷與阿禮聚落與所在子集水區；(b)莫拉克颱風後所受衝擊；(c)回復模式冪次項；(d)回復模式常數項；(e)回復模式判定係數

### 三、宜蘭縣大同鄉太平村

位於宜蘭縣大同鄉蘭陽溪的太平村，在大規模崩塌潛勢區之危險等級屬於中度風險。由崩塌率的分析可發現在 2004 至 2018 年間，此子集水區的崩塌率逐年上升，雖然並未受到 2009 年的莫拉克颱風的影響，但在 2013 年崩塌率上升至 10%(圖 3-20)，與 2012 年蘇拉颱風登陸附近區域造成之坡地災害有關，根據國家災害防救科技中心的全球災害事件簿網頁顯示，蘇拉颱風夾帶豐沛水氣，影響臺灣期間（2012/06/28 06:00~2012/06/29 09:00），雨量主要分布在宜蘭蘭陽平原南側（太平山山區），如圖 3-21 所示。此子集水區之植生回復情形如圖 3-22 所示。

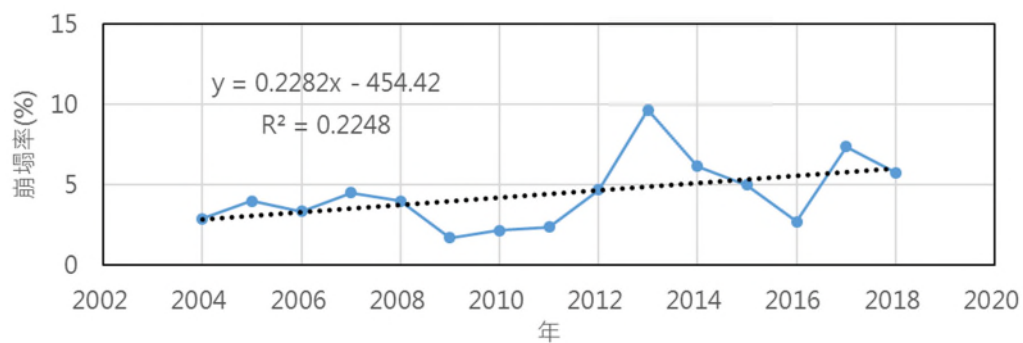


圖 3-20 宜蘭縣大同鄉太平村所在子集水區之崩塌率變化趨勢

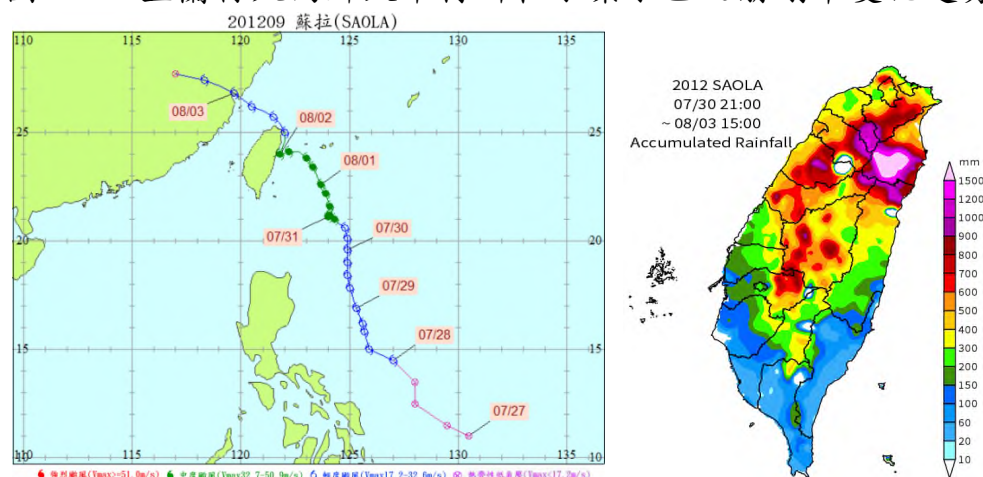


圖 3-21 2012 年蘇拉颱風影響宜蘭縣大同鄉的太平山地區(右圖雨量集中處，資料來源：中央氣象局與全球災害事件簿)

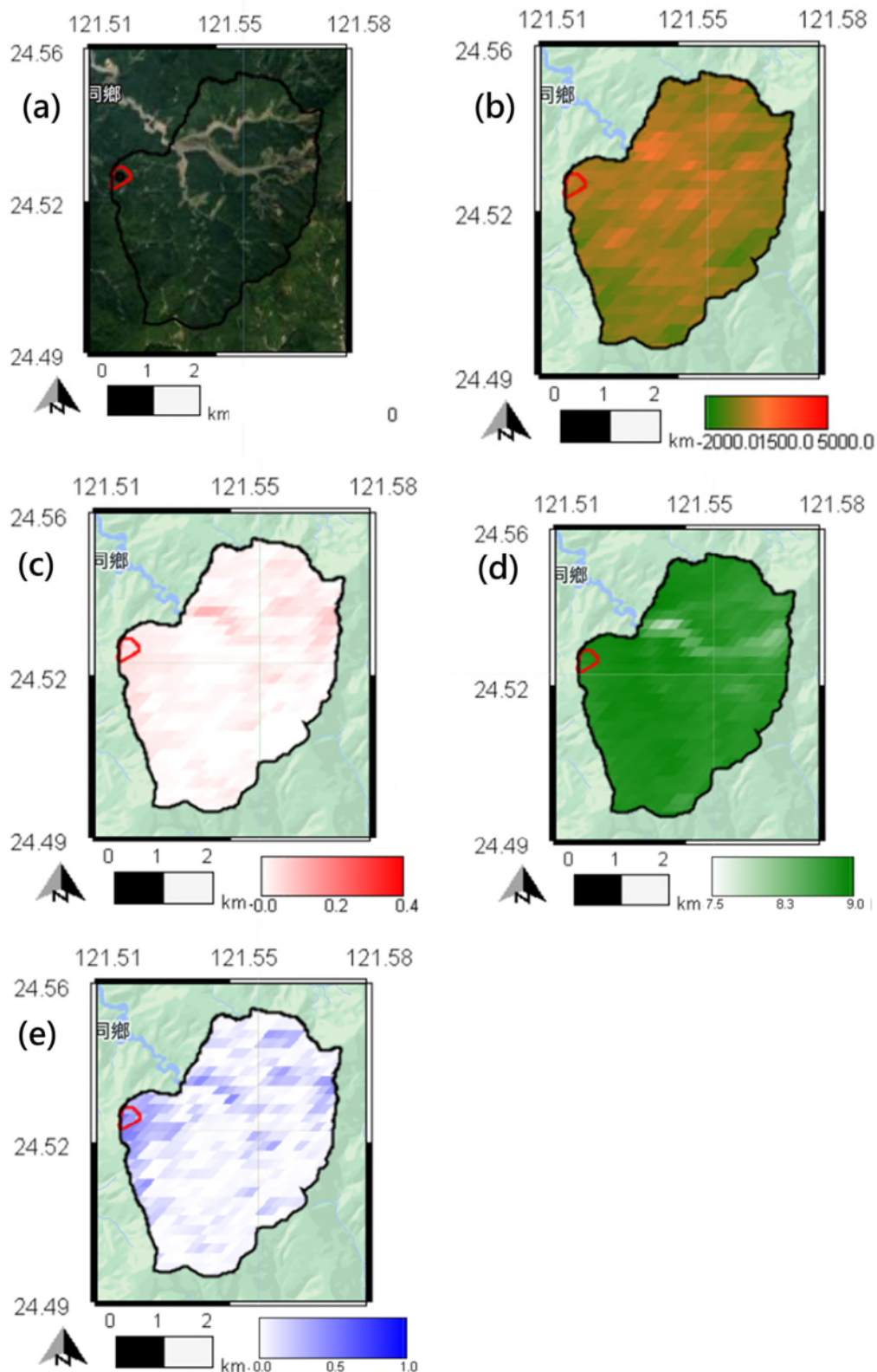


圖 3-22 宜蘭縣大同鄉太平村以 MODIS 影像分析之植生回復結果(a) 太平村與所在子集水區；(b)莫拉克颱風後所受衝擊；(c)回復模式冪次項；(d)回復模式常數項；(e)回復模式判定係數

#### 四、高雄市桃源區寶山聚落

位於高雄市桃源區荖濃溪旁的寶山聚落，在大規模崩塌潛勢區之危險等級屬於低風險。由崩塌率的分析可發現在 2004 至 2018 年間，此子集水區的崩塌率逐年上升，莫拉克颱風後崩塌率上升至 10%，隔年並未明顯下降，至 2012 年才下降到 5% 以下(圖 3-23)。在受到莫拉克颱風事件之後主要受到衝擊的地區為沿著狹長的集水區中的主要河道兩岸，植生回復模式的套配情形如圖 3-24。

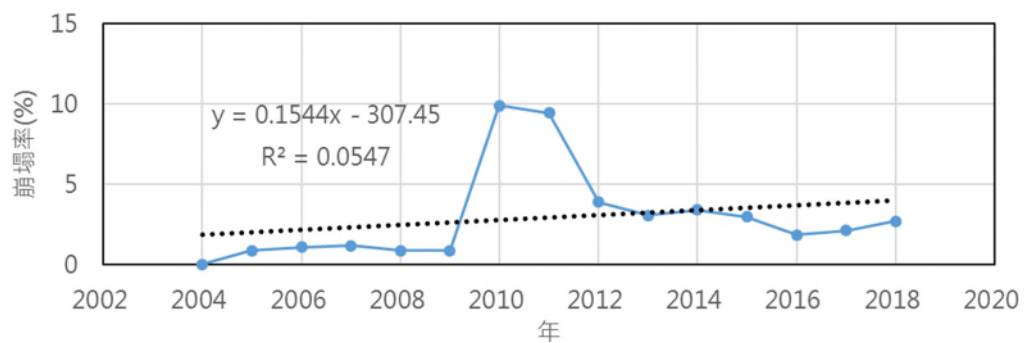


圖 3-23 高雄市桃源區寶山聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢

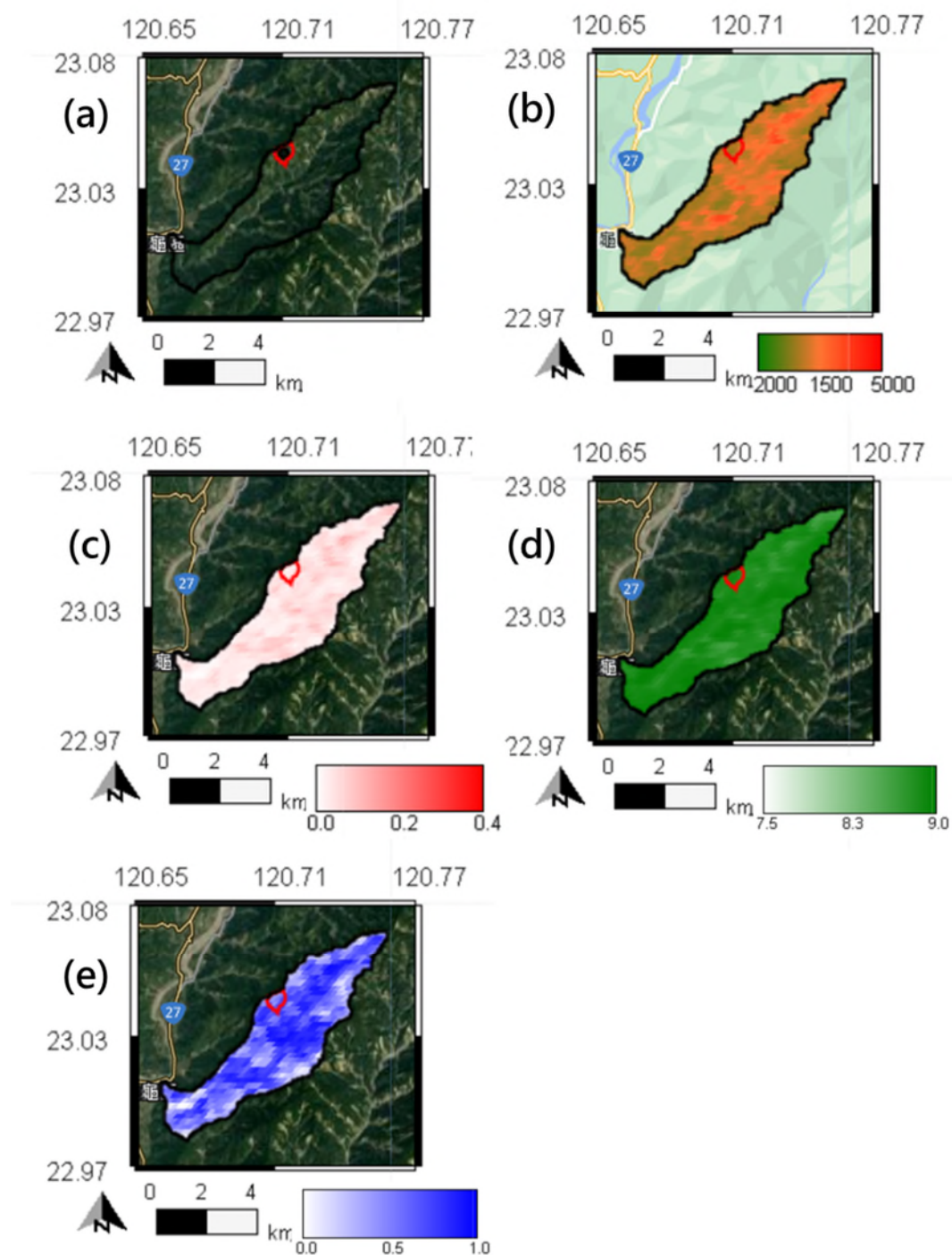


圖 3-24 高雄市桃源區寶山聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果  
(a)寶山聚落與所在子集水區；(b)莫拉克颱風後所受衝擊；(c)回復模式  
式冪次項；(d)回復模式常數項；(e)回復模式判定係數

## 五、南投縣仁愛鄉廬山部落

位於南投縣仁愛鄉的廬山聚落，在大規模崩塌潛勢區之危險等級屬於高度風險。由崩塌率的分析可發現在 2004 至 2018 年間，此子集水區的崩塌率逐年上升，雖然未受到莫拉克颱風影響，崩塌率也均小於 3%，但是逐年上升的趨勢(圖 3-25)。植生回復模式的套配情形如圖 3-26。

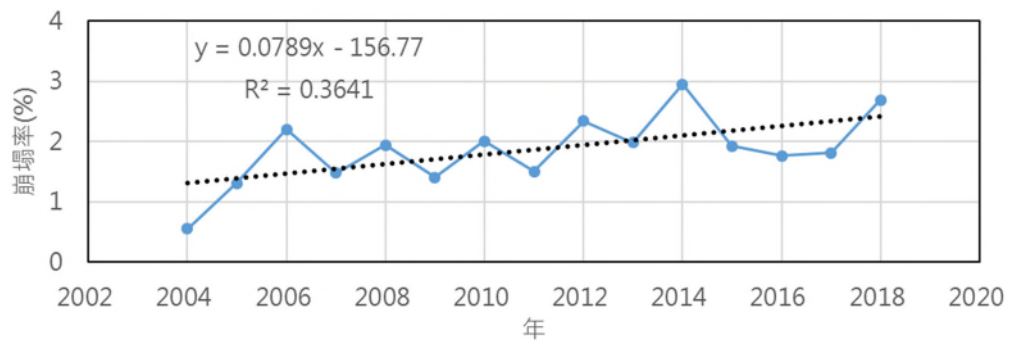


圖 3-25 南投縣仁愛鄉廬山部落所在子集水區之崩塌率變化趨勢

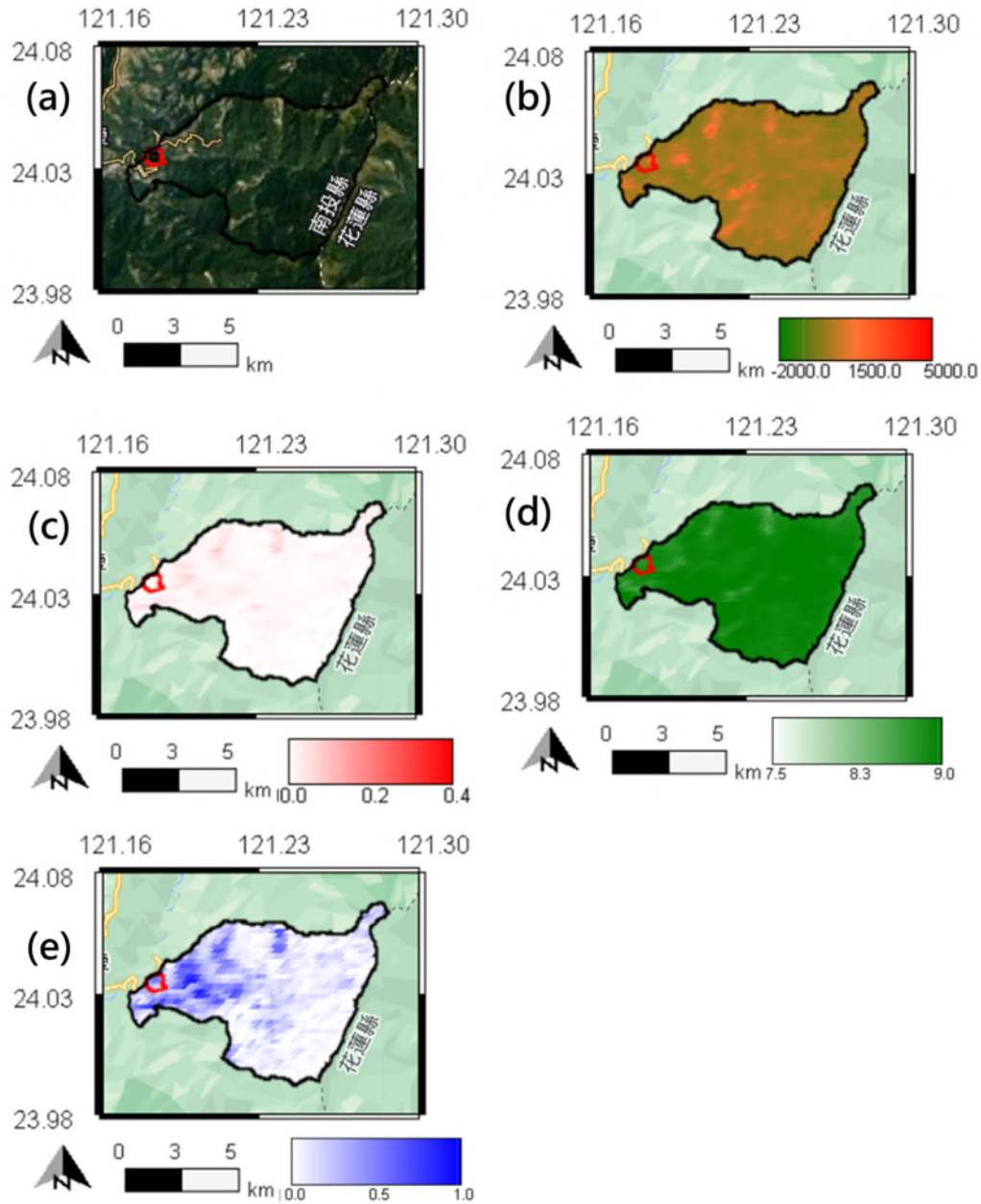


圖 3-26 南投縣仁愛鄉廬山部落以 MODIS 影像分析之植生回復結果  
(a)廬山部落與所在子集水區；(b)莫拉克颱風後所受衝擊；(c)回復模式  
式冪次項；(d)回復模式常數項；(e)回復模式判定係數

## 六、臺東縣延平鄉紅葉村3鄰

位於臺東縣延平鄉紅葉村 3 鄰的部分區域，在大規模崩塌潛勢區之危險等級屬於中風險。由崩塌率的分析可發現在 2004 至 2018 年間，此子集水區的崩塌率均維持很穩定小於 0.5%(圖 3-27)，但是在 2017 年開始上升，此現象與 2016 年莫蘭蒂颱風在紅葉造成的坡地災害(圖 3-28)，有關植生回復模式的套配情形如圖 3-29。

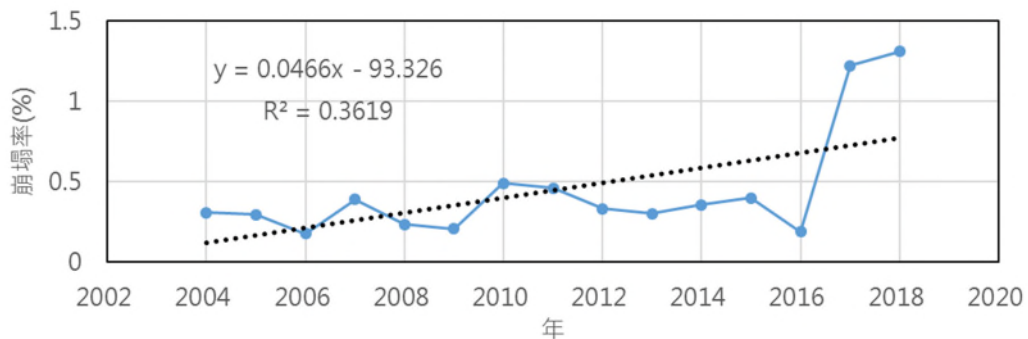


圖 3-27 臺東縣延平鄉紅葉村所在子集水區之崩塌率變化趨勢

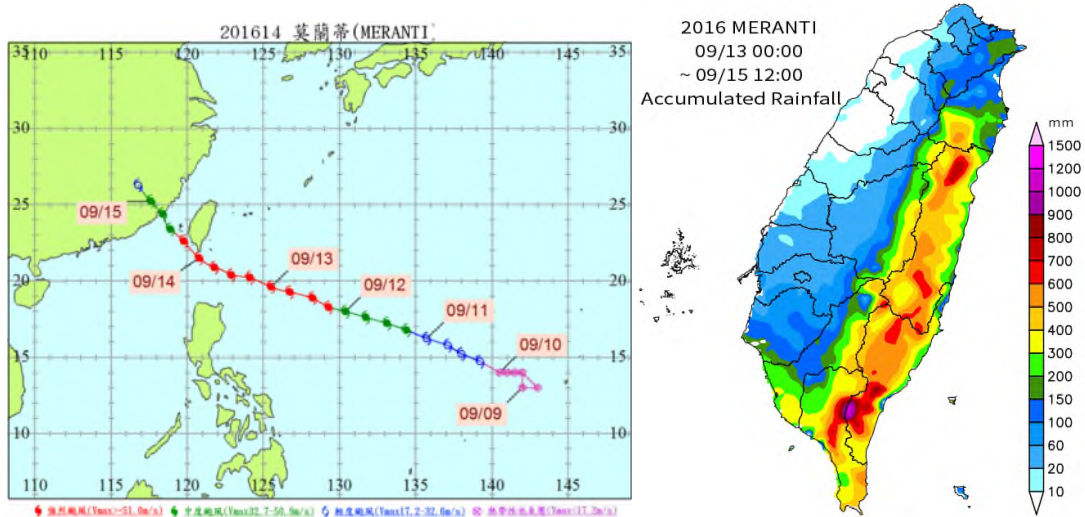


圖 3-28 2016 年莫蘭蒂颱風影響臺東縣延平鄉紅葉村(資料來源：中央氣象局與全球災害事件簿)

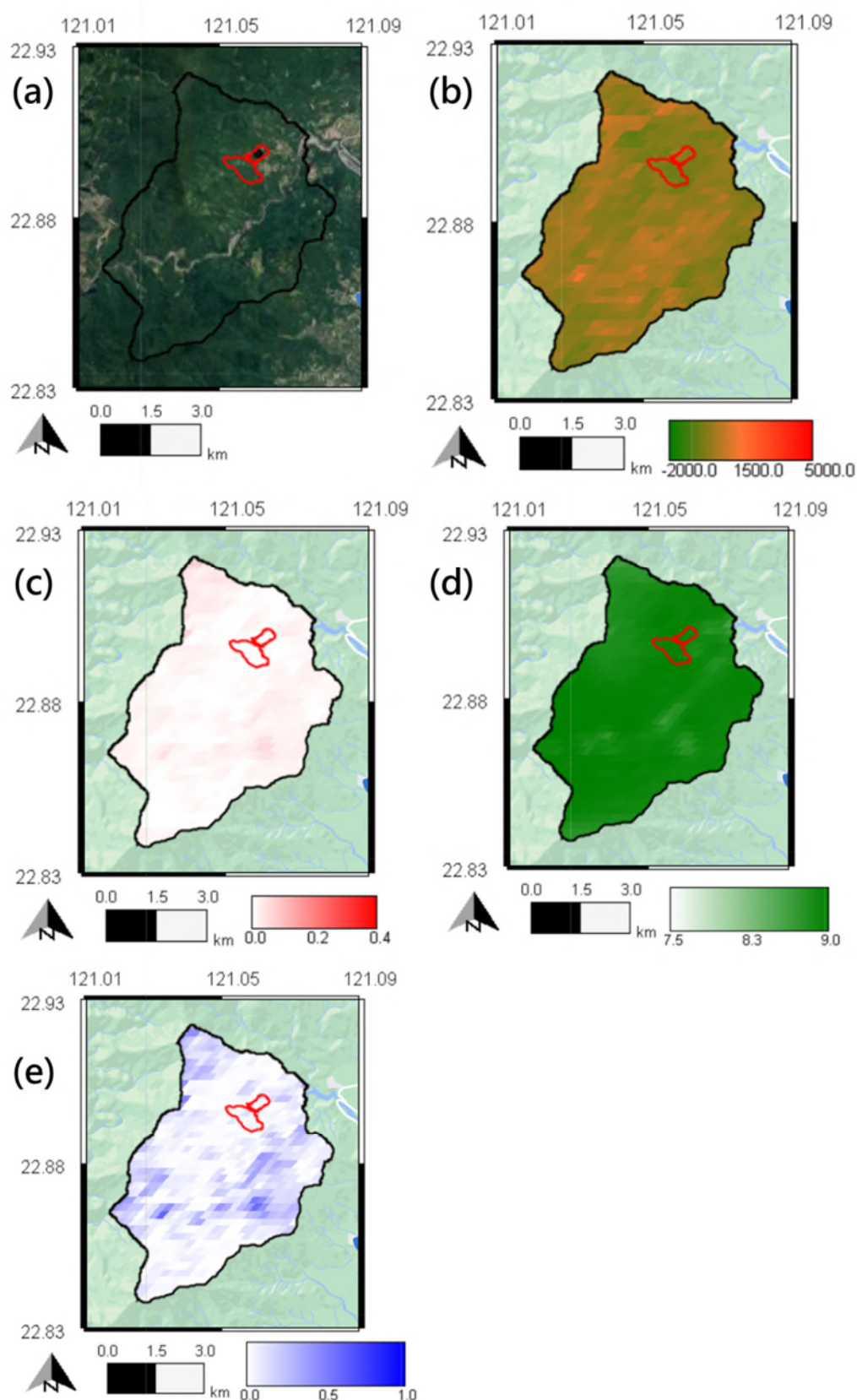


圖 3-29 臺東縣延平鄉紅葉村以 MODIS 影像分析之植生回復結果(a)紅葉村與所在子集水區；(b)莫拉克颱風後所受衝擊；(c)回復模式冪次項；(d)回復模式常數項；(e)回復模式判定係數

## 七、臺東縣大武鄉大鳥聚落

位於臺東縣大武鄉大鳥聚落，在大規模崩塌潛勢區之危險等級屬於高度風險。由子集水區的崩塌率分析可發現在 2004 至 2018 年間，此子集水區的崩塌率均維持很穩定小於 0.5%，但是在莫拉克颱風之後上升至 2%，隨後逐年下降中(圖 3-30)，有關植生回復模式的套配情形如圖 3-31。

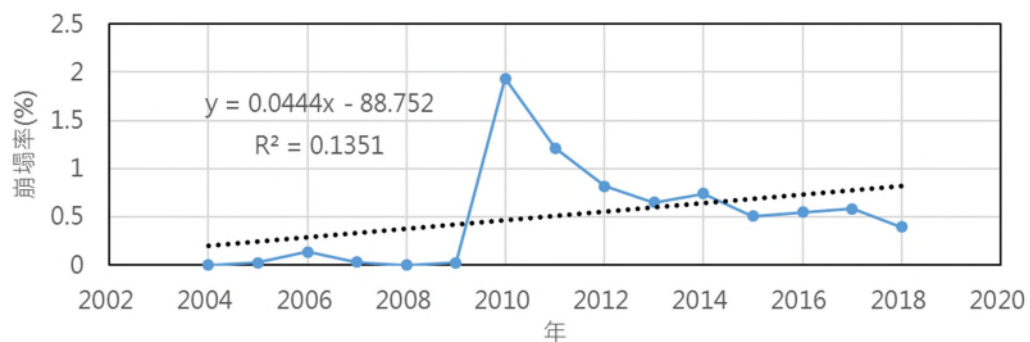


圖 3-30 臺東縣大武鄉大鳥聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢

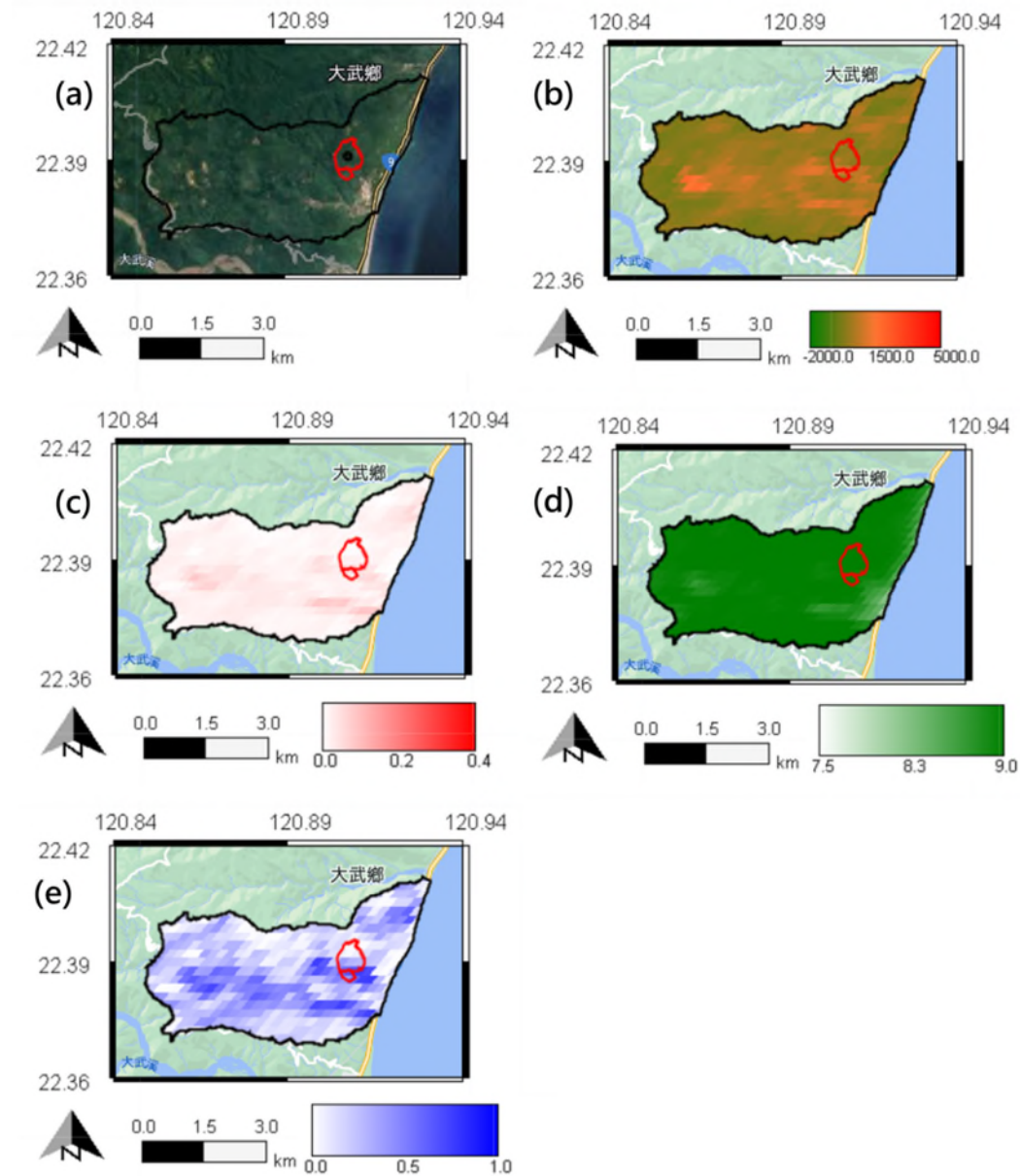


圖 3-31 臺東縣大武鄉大鳥聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果  
(a)大鳥聚落與所在子集水區；(b)莫拉克颱風後所受衝擊；(c)回復模式  
式冪次項；(d)回復模式常數項；(e)回復模式判定係數

## 八、高雄市茂林區萬山聚落

位於高雄市茂林區荖濃溪的萬山聚落，在大規模崩塌潛勢區之危險等級屬於中風險。由子集水區的崩塌率分析可發現在 2004 至 2018 年間，此子集水區的崩塌率均維持很穩定小於 0.5%，但是在莫拉克颱風之後上升至 2%，第二年稍微降低一些，隨後即下降至低於 1%且趨於穩定(圖 3-32)，有關植生回復模式的套配情形如圖 3-33。

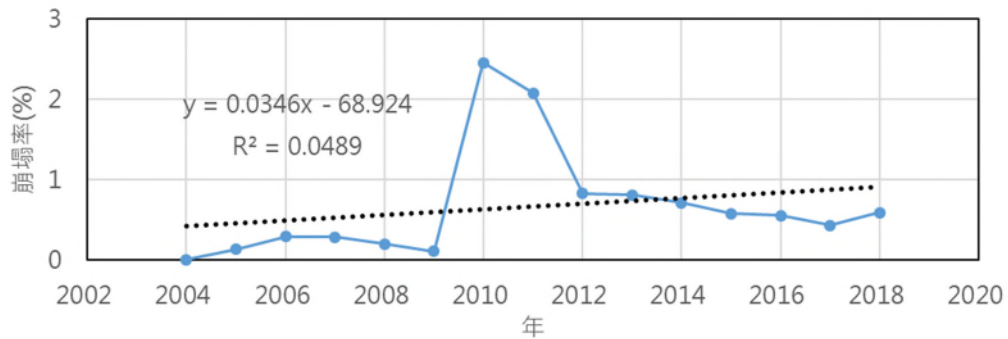


圖 3-32 高雄市茂林區萬山聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢

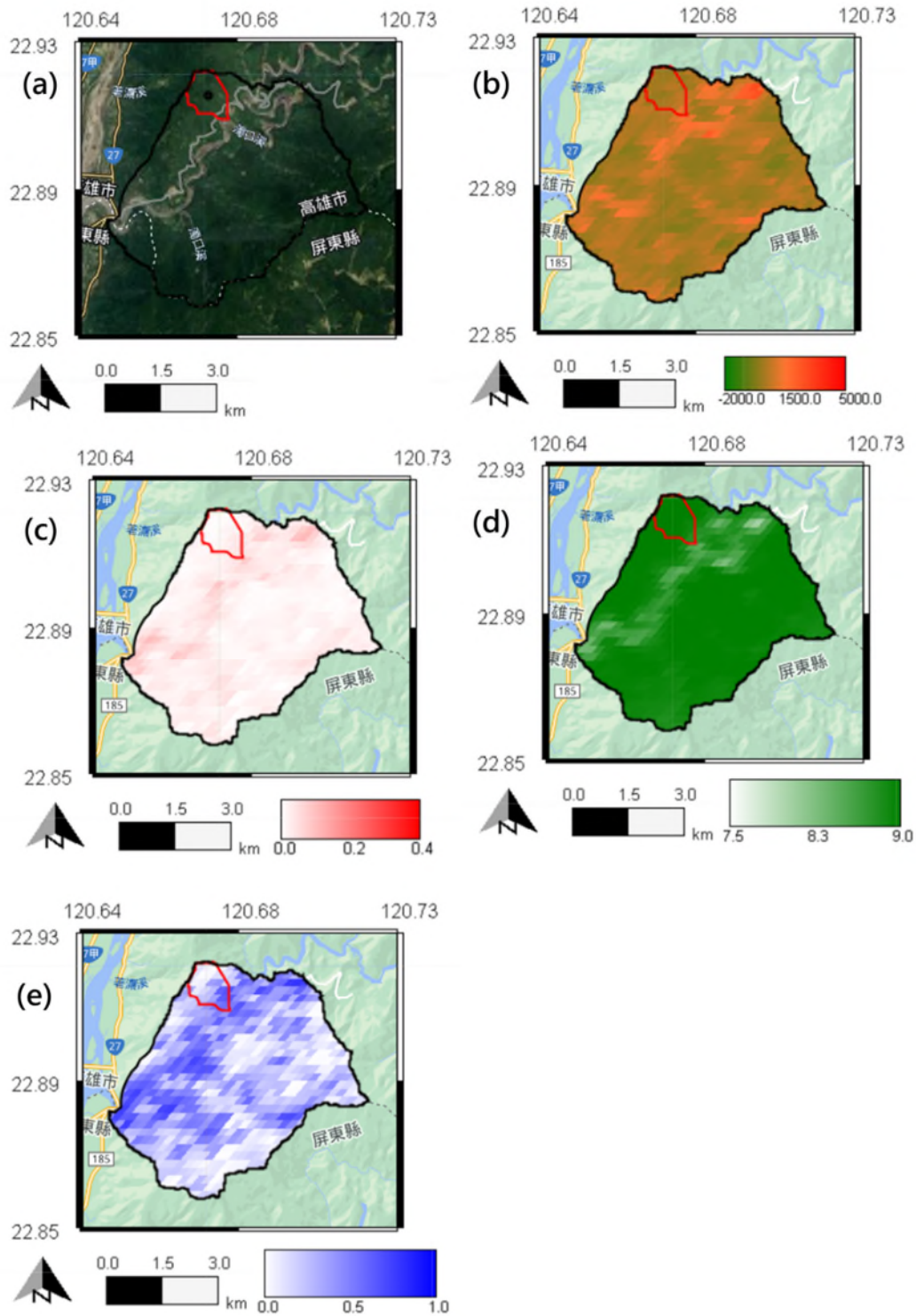


圖 3-33 高雄市茂林區萬山聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果  
(a)萬山聚落與所在子集水區；(b)莫拉克颱風後所受衝擊；(c)回復模式冪次項；(d)回復模式常數項；(e)回復模式判定係數

## 九、台中市和平區松茂聚落

位於台中市和平區松茂聚落，在大規模崩塌潛勢區之危險等級屬於中風險。由子集水區的崩塌率分析可發現在 2004 至 2018 年間，此子集水區的崩塌率均維持很穩定小於 1.5%，亦未受到莫拉克颱風之直接侵襲，但是逐年增加的趨勢值得注意(圖 3-34)。有關植生回復模式的套配情形如圖 3-35。



圖 3-34 台中市和平區松茂聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢

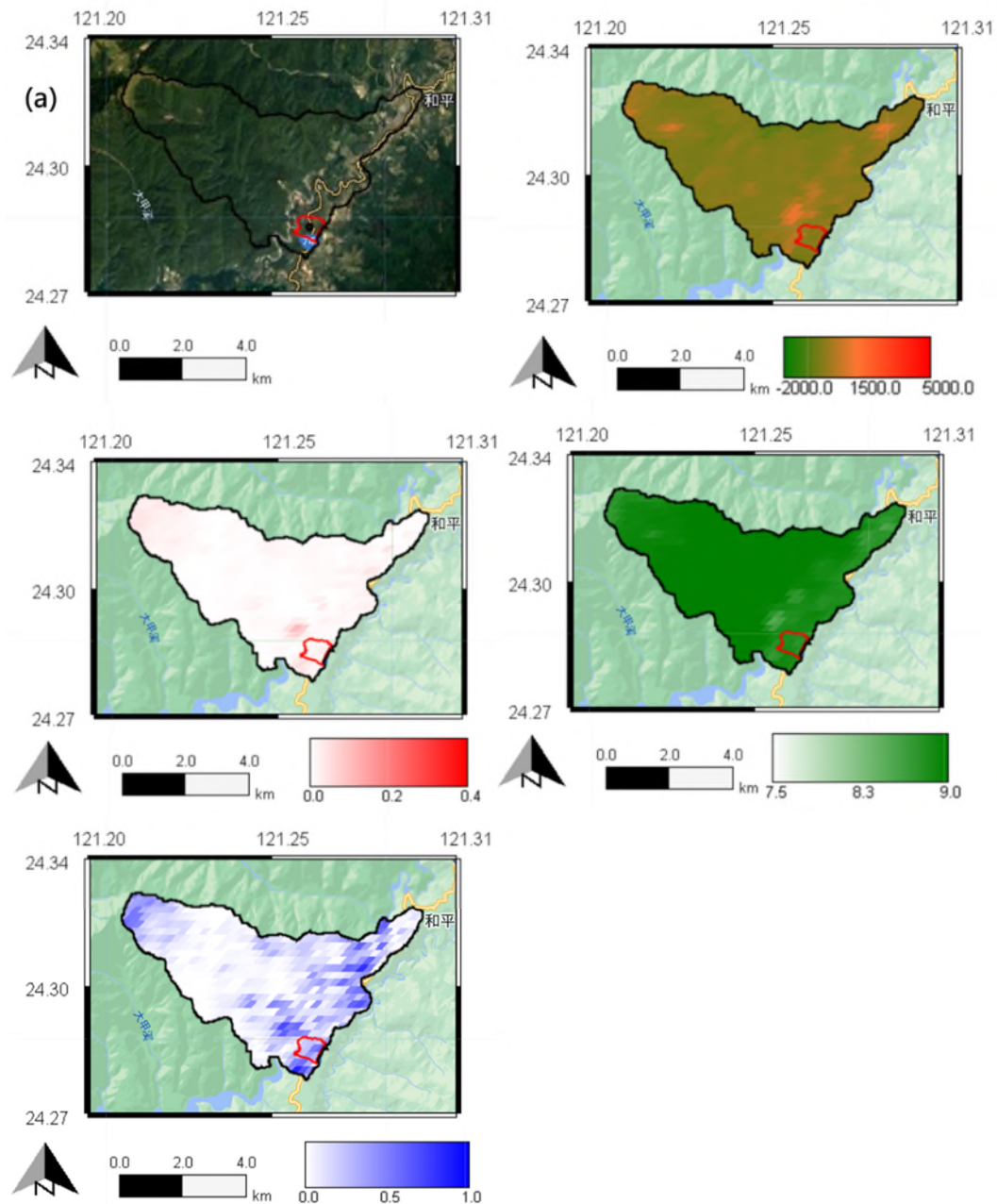


圖 3-35 台中市和平區松茂聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果  
(a)松茂聚落與所在子集水區；(b)莫拉克颱風後所受衝擊；(c)回復模式冪次項；(d)回復模式常數項；(e)回復模式判定係數

## 十、嘉義縣阿里山鄉公興村聚落

位於嘉義縣阿里山鄉的公興村部落，在大規模崩塌潛勢區之危險等級屬於中風險。由子集水區的崩塌率分析可發現在 2004 至 2009 年間，此子集水區的崩塌率均維持很穩定小於 1.5%，在莫拉克颱風之後崩塌率上升至 4%，隨後慢慢下降至穩定階段(圖 3-36)。有關植生回復模式的套配情形如圖 3-37。

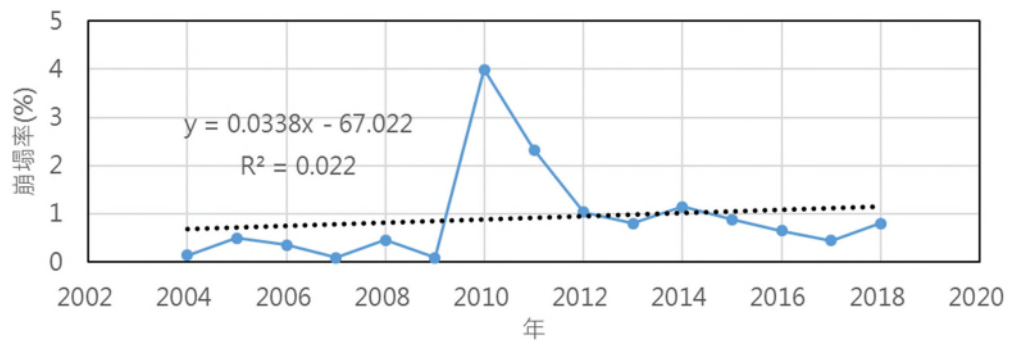


圖 3-36 嘉義縣阿里山鄉公興村聚落所在子集水區之崩塌率變化趨勢

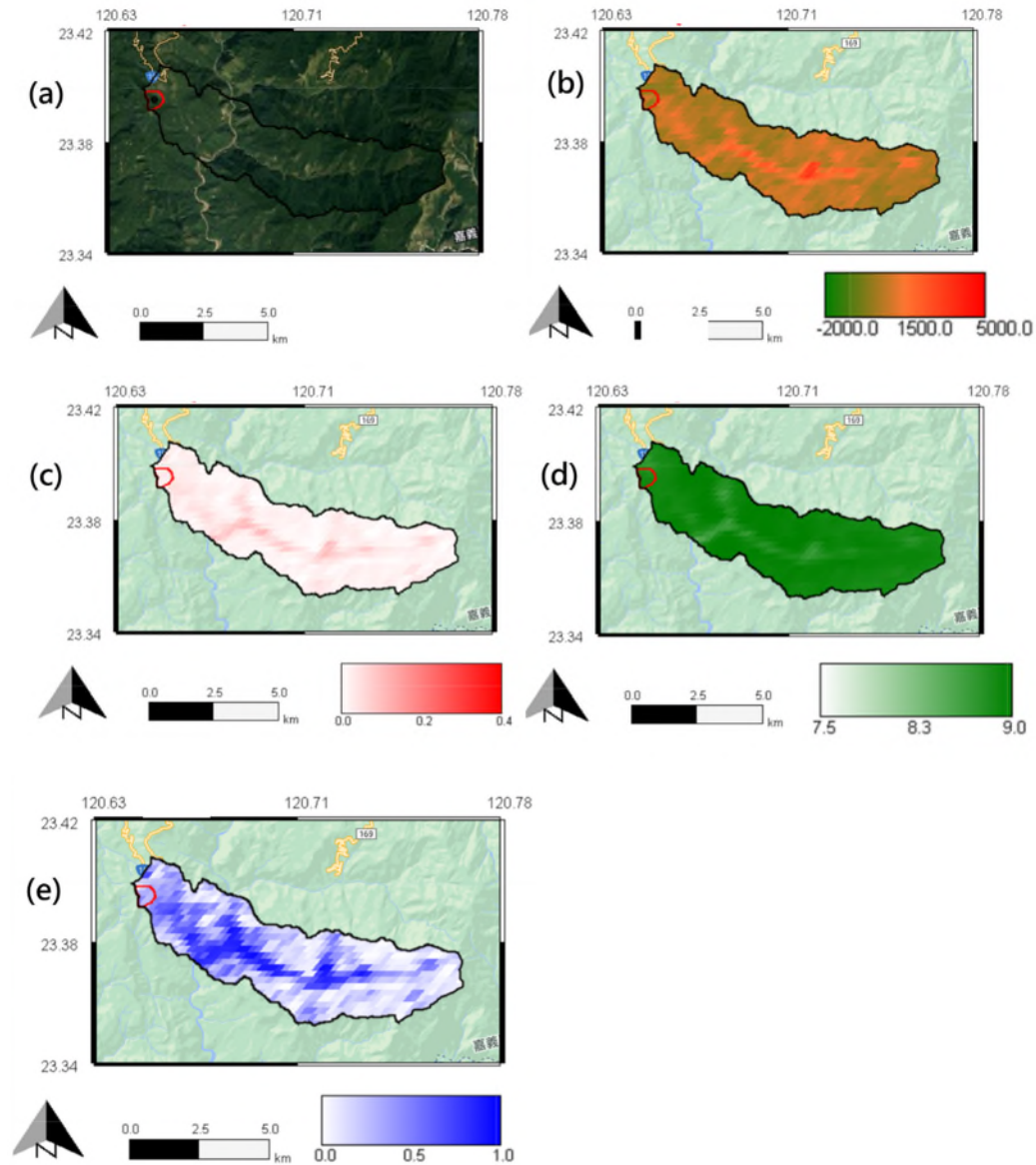


圖 3-37 嘉義縣阿里山鄉公興村聚落以 MODIS 影像分析之植生回復結果(a)公興村聚落與所在子集水區；(b)莫拉克颱風後所受衝擊；(c)回復模式冪次項；(d)回復模式常數項；(e)回復模式判定係數

## 第五節 網路應用程式

為利於檢視 NDVI 時間序列與分析結果，本研究開發網路應用介面(APP)，供使用者點擊圖面任何位置，並展示出該位置鄰近 MODIS 影像之網格點 NDVI 時間序列與所選之子集水區資訊。

該 APP 之網頁展示介面如圖 3-38 所示。目前 APP (<https://suyuanfong.users.earthengine.app/view/modisndviewproject>) 已可供公眾免費查詢。後續完成植生回復指標的計算結果，將再更新 APP 的呈現內容與呈現方式，務求介面友善且資訊充足而正確。

此 APP 之展示方式為右上方呈現左圖滑鼠選取點之原始 NDVI 時間序列，右下則呈現滑鼠選取點所在之子集水區內的區域平均 NDVI 時間序列，由此例子可發現子集水區內局部地區發生嚴重崩塌時，子集水區平均 NDVI 時序可能只有微小的變動。

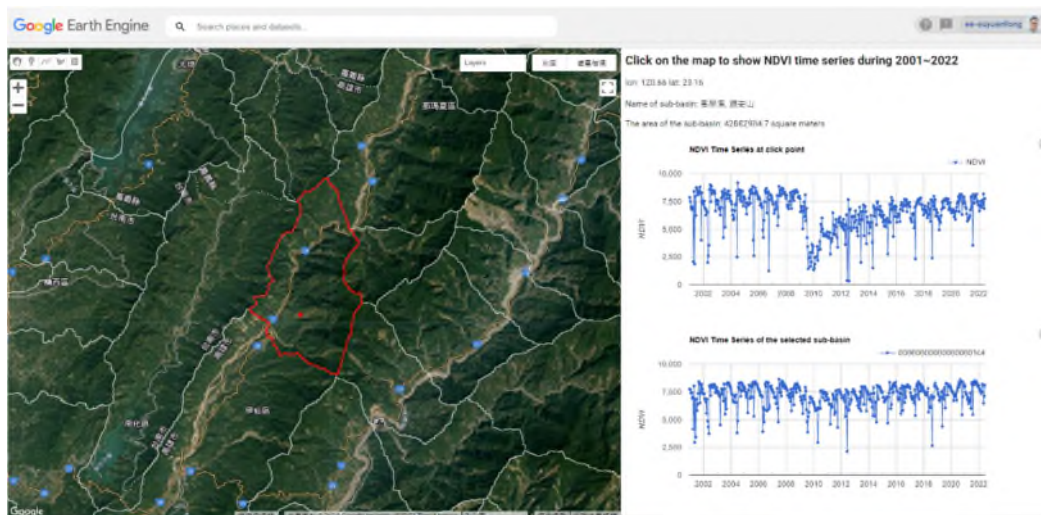


圖 3-38 MODIS 植生指標時間序列 APP 初步版型，右上時間序列為左圖中紅色圓點所在像元所得之 NDVI 時序，右下則為子集水區內平均 NDVI 時序

## 第四章 結論及建議

### 第一節 結論

本研究於分析 MODIS 衛星影像的衍生產品 MOD13Q1，該產品為 16 天合成影像，此產品可有效的減少雲遮的影響，為了解時間與空間上受到雲遮影響的比例，本研究發現整個台灣地區約有 71% 的區域，在時間尺度上低於 25% 的影像受到雲遮影響。為解決此雲遮的務問題，本研究評估後決定採用移動平均法(moving average)，採用前後一段時間的影像計算時間上的平均值，本研究比較移動窗框分別為 7 與 23 的效果，結果顯示移動窗框為 23 時，由於移動窗框內涵蓋資料範圍約為一年，因此經由移動平均計算之後，則可發現季節變動特性已大幅減少。使用移動平均方法的最大好處即在於不須額外的進行時間序列分解方法，區分出變動趨勢、季節特性與殘差等項目即可以移動平均處理後的 NDVI 時間序列，進行後續的植生回復分析。

在植生回復的分析上，本研究採用冪次模式描述各地區受到莫拉克颱風衝擊之後的植生指標回復行為，結果顯示許多地區均可以有很好的推估模式，受到衝擊越大的地區迴歸之判定係數越高。在多元衛星影像的分析方面，本研究已完成 MODIS 與 Landsat 資料的分析，發現在不同解析度下，空間上的細節可以更清楚的看出，而植生回復模式的分析結果，其兩者的係數也很接近。以小林村為例，莫拉克颱

風所造成的崩塌地，以植生指標而言，回復到災害發生之前的平均水準的 90%，約需要 10 年至 12 年不等的時間。然而，必須強調的是植生指標的回復並不表示林地的生態服務功能回復到相同水準。

在案例分析方面，本研究參考水保局所公布之 36 處大規模崩塌的區域，比對這些區域所在之子集水區，在 2004 年至 2018 年之間，由影像辨識找出的年度崩塌地圖資，計算歷年之子集水區崩塌率的變化，結果顯示中南部山區之子集水區，大多數受到 2009 年莫拉克颱風的影響，隨後以不同的速率在回復。各地的植生回復情形與當地的外在環境因子有關，例如：海拔高度、溫度、降雨、生物多樣性等均有相關，而這些因子綜整後的表現在冪次模式的參數之中。

Landsat 的資料分析中，本研究已整併 GEE 中的 Landsat-5、Landsat-7、Landsat-8 與 Landsat-9 的影像為單一影像集合，解決 Landsat-7 ETM+與 Landsat-8 OLI 兩感測器不相同之影響，Landsat 資料集已可提供 1984 年至 2022 年之 NDVI 時間序列，在時間序列上可更清楚看到 NDVI 之長時期趨勢，然而 MODIS 影像則可更明顯看出季節變動特性。然而，Landsat 整合後的資料仍須進一步的分析才能提升分析成果的品質，例如：Landsat 資料的雲遮率除、Landsat-7 縫隙填補(gap-filling)、相同月份但不同編號之衛星資料的整併。

## 第二節 建議

### 一、立即可行建議

本研究已透過分析 MODIS 影像建立一套植生回復之分析流程，未來可利用 EE 中的 Landsat 影像所具備的品質評估(QA)的資訊，將每幅影像的雲遮找出，分析 Landsat 系列影像受到雲遮的影響與比例。為能更了解植生回復主要受到那些外在環境因子的影響，未來可加入地理因子，如：緯度、海拔高度，氣候因子，例如：最高溫與最低溫、年總雨量等變因進行討論。

### 二、中長期建議

山區植生的研究需要長久的投入，配合現代測繪工具的引入，例如：全波形雷射、光達、空載雷達等，取得更多林木的參數，例如：胸徑大小、樹高、密度等。此外，由於衛星影像的資料空間解析度已達數公尺，但是氣候資料仍為公里等級，例如：國家災害防救科技中心的網格化雨量與氣候資料為 10 公里網格，較不易看出局部區域的差異。

此外，目前國際趨勢為評估森林韌性(forest resilience)是否遭受氣候變遷影響而逐漸降低(Boulton et al., 2022)，若台灣的森林韌性也在逐年下降，則在可預期的未來，林地資源管理勢必遭受更大的挑戰，因此建議盡早投入相關研究。



## 參考文獻

1. 李昀叡，碩士論文，TerraSAR-X 雷達衛星正射處理與淹水判釋產品之精度評估，國立成功大學地球科學系，2013
2. 莊昀叡，雷達影像時間序列分析於裸露地監測之探討，行政院農業委員會水土保持局創新研究計畫成果報告，2020。
3. 姜壽浩，整合多時序雷達影像與紋理資訊進行裸露地長時距監測，行政院農業委員會水土保持局創新研究計畫成果報告，2020。
4. 陳亮全、林李耀、李維森、謝龍生、李欣輯、陳聯光，2011，莫拉克颱風之災情勘查與分析，國家災害防救科技中心技術報告，NCDR 98-T28。
5. Abdi, A.M., Land cover and land use classification performance of machine learning algorithms in a boreal landscape using Sentinel-2 data, GIScience & Remote Sensing, Vol. 57, no.1, pp.1-20, 2020.
6. Boulton, C.A., Lenton, T.M., Boers, N., 2022, Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s, Nature Climate Change, Vol. 12, pp. 271-278. DOI: 10.1038/s41558-022-01287-8
7. Chang, C.C. and C.J. Lin, LIBSVM: A library for support vector machines, ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, Vol. 2, No. 3, Article 27, Publication date: April 2011, 2011.
8. Cleveland, R.B., Cleveland, W.S., McRae, J.E., Terpenning, I., STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess, Journal of Official Statistics, Vol. 6, No. 1, pp. 3-71, 1990.

9. Cilli, R., Monaco, A., Amoroso, N., Tateo, A., Tangaro, S., and Bellotti, R., Machine learning for cloud detection of globally distributed Sentinel-2 images. Remote Sensing, Vol. 12, no. 15, pp. 2355, 2020.
10. Didan, K., Munoz, A.B., Solano, R., Huete, A., MODIS Vegetation Index User' s Guide, [https://lpdaac.usgs.gov/documents/103/MOD13\\_User\\_Guide\\_V6.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/documents/103/MOD13_User_Guide_V6.pdf), 2015
11. Lin, C.Y., H.M. Lo, W.C. Chou, W.T. Lin, Vegetation recovery assessment at the Jou-Jou Mountain landslide area caused by the 921 Earthquake in Central Taiwan, Ecological Modelling, Vol. 176, pp. 75-81, 2004.
12. Lin, C.Y., C.W. Chuang, W.T. Lin, W.C. Chou, Vegetation recovery and landscape change assessment at Chiufenershan landslide area caused by Chichi earthquake in central Taiwan, Natural Hazards, Vol. 53, pp. 175 – 194, 2010.
13. Liu, P., K.W.R. Choo, L. Wang, F. Huang, SVM or deep learning? A comparative study on remote sensing image classification, Soft Computing, Vol. 21, pp. 7053 – 7065, 2016.
14. Liu, C.C., Chen, Y.H., Wu, M.H., Wei, C., Ko, M.H., Assessment of forest restoration with multitemporal remote sensing imagery, Scientific Reports, Vol. 9, pp. 7279, 2019.
15. Kennedy, R.E., Yang, Z., Cohen, W.B., Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr - Temporal segmentation algorithms, Vol. 114, pp. 2897-2910, 2010.

16. Rana, V.K. and T.M.V. Suryanarayana, Performance evaluation of MLE, RF and SVM classification algorithms for watershed scale land use/land cover mapping using sentinel 2 bands, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Vol. 19, pp. 100351, 2020.
17. Roy, D.P., Kovalskyy, V., Zhang, H.K., Vermote, E.F., Yan, L., Kumar, S.S., Egorov, A., Characterization of Landsat-7 and Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 185, pp. 57-70, 2016.
18. Shimizu, K., Saito, H., Country-wide mapping of harvest areas and post-harvest forest recovery using Landsat time series data in Japan, *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, Vol. 104, pp. 102555, 2021.
19. Yang, W., Qi, Q., Zhou, J., Decreased post-seismic landslides linked to vegetation recovery after the 2008 Wenchuan earthquake, *Ecological Indicators*, Vol. 89, pp. 438-444, 2018.
20. Yang, X., Xu, X., Stovall, A., Chen, M., Lee, L.E., Recovery: Fast and slow – Vegetation response during the 2012-2016 California drought, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 126, e2020JG005976. <https://doi.org/10.1029/2020JG005976>, 2021.
21. Yunus, A.P., Fan, X., Tang, X., Jie, D., Xu, Q., Huang, R., Decadal vegetation succession from MODIS reveals the spatial-temporal evolution of post-seismic landsliding after the 2008 Wenchuan earthquake, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 236, pp. 111476, 2020.

22. Zhang, F. and Yang, X., Improving land cover classification in an urbanized coastal area by random forests: The role of variable selection, Remote Sensing of Environment, Vol. 251, pp. 112105, 2020.

## 附錄

### 附錄一、細部計劃書書面審查意見回覆辦理情形

| 項次        | 審查意見                                                                                                   | 回覆辦理情形                                                                             |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 報告內容審查意見： |                                                                                                        |                                                                                    |
| 一         | 本研究區域未明確，如能以全臺為範圍應用面可更廣。                                                                               | 本研究 APP 完成後，可應用至全臺，分析過程將以中南部崩塌地為主要分析案例。                                            |
| 二         | 預期建立之植生回復指標是否以網格方式呈現？空間解析度為多少？如能定期更新，有助於未來氣候變遷下等相關環境韌性議題。                                              | 植生回覆指標以網格為基礎(pixel-based)。空間解析度將分為中解析度(250~500 公尺)與中高解析度(10~30 公尺)兩種。影像持續蒐集將可定期更新。 |
| 三         | 不同時期的不同衛星影像及解析度不同，判釋出來的崩塌的範圍也會不同，對於長期植生復育回復的影響也會不同。建議應該詳細考慮並且加以說明。                                     | 本研究將在兩個空間解析度之下，探討植生復育的現象，後續報告書中將著重於此點之說明                                           |
| 四         | 自莫拉克風災後，林務局針對重大的崩塌地，實施了許多植生復育的工作，並且已經運用長期的遙測影像，做定量的植生復育評估，也探討了其原因。相關論文發表在Scientific Reports，建議參考這一篇論文。 | 感謝委員提醒，該論文已納入重要參考文獻中                                                               |
| 五         | 不論是一般的影像分類方法，或者是深度學習的模型，直接將多光譜的影像拿來分類，所得到的崩塌的範圍，一般的精度是多少？符合本研究所需要的精度嗎？建議應該詳細                           | 影像分類的精度一般約介於75%~95%之間。空間解析度則是直接影響到崩塌範圍辨識的精確度。報告書中將詳加說明。                            |

| 項次 | 審查意見                                                                                           | 回覆辦理情形                                     |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|    | 考慮並且加以說明。                                                                                      |                                            |
| 六  | 計畫構想中所述之相關資料為公開資料，方法為一般習用之貝式分類及SVM分類等方法，應用亦為一般之公開展示，較少創新的應用開發之面向，建議應針對創新應用，或運用新資料、新分析技術面向加以著墨。 | 本研究主要創新價值為應用新的雲端遙測平台技術，分析不同解析度影像對於植生復育的觀察。 |

## 附錄二、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

| 項次        | 審查意見                                               | 回覆辦理情形                                                                                                           |
|-----------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 報告內容審查意見： |                                                    |                                                                                                                  |
| 一         | 計畫的目標單純係利用 Google Earth Engine 分析多元衛星長期資料計算植生回復指標。 | 感謝委員意見。                                                                                                          |
| 二         | 衛星拍攝的可見光各波段反射率影像受天候狀況影響甚大，如何進行校正？或者加以比較分析？         | 本研究在 MODIS 的植生指標時間序列分析時，採用 16 天合成的植生指標，由於採用最大 NDVI 的合成方法，可大幅減少雲遮的影響。                                             |
| 三         | 另，不同衛星影像解析度不同，如何加以整合？在像素及疊合區塊上如何處理？                | 抱歉在文字敘述上不夠精確造成誤解。在植生指標的時間序列分析時，將主要分析 MODIS 影像的部分，其空間解析度為 250 公尺。另一方面，將同時分析 Landsat 衛星影像本身的植生指標時間序列的特性，兩者並不會加以整合。 |
| 四         | 驗證如何進行？                                            | 植生回復的驗證將蒐集林務局的崩塌地圖，檢視所選之崩塌地案例的歷年變動情形，是否與植生指標時間序列所分析的特性相符。                                                        |

| 項次 | 審查意見                           | 回覆辦理情形                                                                                                |
|----|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 五  | 可否統計計算某流域植生復育週期？               | 本研究在植生指標時間序列分析上將採用網格式(pixel-based)的基礎，可應用於流域等級的分析，如子集水區內的平均植生回復時間序列分析。                                |
| 六  | 去除週期性資料(季節、年)，建議可利用頻譜分析及濾波作法。  | 感謝委員建議，將比較與評估各種時間序列分解方法，選擇適當之分析方法，將植生指標時間序列，分解趨勢、季節特性與殘差等。                                            |
| 七  | 利用光學衛星多時期評估植生回復指標，如何減低季節性植生影響？ | 植生的季節變動特性，將透過時間序列分解而得，並將其扣除後的時間序列，進行植生回復的分析。                                                          |
| 八  | 以解析度500 m 之影像，如何適用臺灣小面積崩塌？     | 感謝委員意見，經水保局同仁建議，改採用 250 公尺解析度的資料進行分析。為能看到更小的崩塌地變動情形，本研究亦納入 Landsat(30 公尺解析度)影像的植生指標時間序列分析。            |
| 九  | 模型如何考慮不同流域、生長條件之影響？            | 本研究針對網格式的植生指標時間序列進行分析，不同流域的植生生長特性，將反映在時間序列的變化特徵之中。本研究期望建立一套適用於全台的植生指標時間序列分析方法，定義出植生回復指標，使其能應用於不同流域之間。 |

| 項次 | 審查意見                                           | 回覆辦理情形                                                                                                                  |
|----|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 十  | P.2-1:基於解析度而分為兩類影像，是否能如MODIS 植生回復指標般獲得回復時間之估算？ | Landsat 影像在 Google Earth Engine 中有自 1984 至今的影像(每 16 天一幅)，每個網格在一年之中能找到一個代表的植生指標，其實間解析度不如 MODIS 衛星(每日一幅)，因此較不易看出年間季節變動特性。 |
| 十一 | P.2-6:土地覆蓋分類方法皆為未監督分類方法，如何確認各方法之可靠性？           | 抱歉在文中未說明清楚。當需要分析土地覆蓋分類時，本研究將針對每年所選的衛星影像，蒐集訓練樣本，將採用監督式分類法進行分析。                                                           |
| 十二 | 請說明 Google Earth Engine 中要如何對不同的衛星影像進行大氣校正。    | 大氣校正必須逐幅影像進行，本研究著重於植生指標的時間序列分析，而植生指標的計算時，已可消除部分大氣效應。因此將不特別執行大氣校正。                                                       |
| 十三 | 簡報所使用小林村崩塌發生後，NDVI 應是突然變化，為何是逐步減少？             | 由原始 MODIS 影像所計算之 NDVI 確實為突然變化，簡報中所看到的逐漸減少的序列，是為了找出變遷點，而進行了移動平均(moving average)後的結果。                                     |
| 十四 | 請說明本研究的成果要如何定量地驗證？                             | 本研究擬自 MODIS 影像之植生指標時間序列，分析植生回復所需的時間，並透過 Landsat 影像與林務局所分析的歷年崩塌地範圍變化，計算崩塌地與鄰近範圍內的植生指標時間序列，並檢視其相關                         |

| 項次 | 審查意見                                                                       | 回覆辦理情形                                                                                               |
|----|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                            | 性。                                                                                                   |
| 十五 | 在植生復育的過程中，小樹會逐漸地成長，最後成為大樹。但也有可能復育失敗，樹苗凋零，最終被草地取代。請問要如何分辨這些差異，確定植生順利回復？     | 此情形在 MODIS 分析結果之中，其 NDVI 數值將遲遲無法回復至災害發生前的水平，而欲進一步確認植生是否回復，須結合其他高解析度影像，例如 Landsat 或 Sentinel-2。       |
| 十六 | 建議以此研究建立之工具，進一步分析臺灣各地區之植生恢復速度之比較，並結合GEE資料庫內之氣象資訊(如溫度、雨量、土壤含水量等)，作進一步分析與比較。 | 感謝委員意見，下半年將嘗試加入氣象資料的分析，分析不同區域的植生回復速度並比較其差異。                                                          |
| 十七 | 能否以此工具進一步分析森林火災之潛勢變化？                                                      | 森林火災的潛勢變化與氣象以及人為活動有高度相關，結合氣象乾旱，如：標準化降雨指標(SPI)與 NDVI 時序特性反映的植生乾旱，未來應可建立林火的潛勢評估。針對人為活動較高的區域，可強化宣導林火風險。 |
| 十八 | 植生喪失(變化)之原因可能有季節性變化，崩塌或火災所致，目前本研究是否能作區分？並評估其不同的回復時間長短。                     | 本計畫規劃主要針對崩塌地的復原進行分析。若未來能建立年度乃至於事件式的林火焚燒範圍目錄，將使此類比較的可行性大幅提高。                                          |

| 項次 | 審查意見                                                         | 回覆辦理情形                                                |
|----|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 十九 | 建議使用MOD13Q1(250 m)影像資料庫，或直接以landsat8(30 m)計算NDVI以得到較高解析度的成果。 | 感謝建議，已全面改用MOD13Q1進行分析。Landsat影像也將加入分析。                |
| 二十 | 文中似以坐標點顯示其植生指標之時間序列，無法完整呈現該區域的植生情形，建議改以山坡地範圍或區域進行統計及顯示。      | 本研究針對網格式的植生指標時間序列進行分析，下半年度將加入政府資料開放平臺中的全台子集水區的圖層進行分析。 |

### 附錄三、期中審查意見暨回覆辦理情形

| 項次        | 審查意見                                                                                                                                                   | 回覆辦理情形                                                  |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 報告內容審查意見： |                                                                                                                                                        |                                                         |
| 一         | 報告中展示了由MODIS 產品擷取之小林村植生指標時間序列（圖3-3），經STL 方法分解為趨勢，季節特性，殘差之結果（圖3-4），再運用移動平均分析其中的「趨勢」序列，最後找到小林村崩塌發生為8/13，是莫拉克8/8 後第一個好天氣。以此為基礎，建立方法，分析另外十處集水區。並提供Web App。 | 感謝委員了解本計畫主旨。                                            |
| 二         | 所展示小林村的例子相當理想，但這也顯示衛星影像進行大氣校正的重要性。MODIS 本來的設計就有大氣校正專用的波段，因此所提供的都是完成了大氣校正的產品。相對之下，Landsat 的設計就沒有大氣校正專用的波段，也就沒有標準大氣校正的產品，也因此圖3-2 就看不出像MODIS 這麼理想的時間序列。   | 確實大氣校正與否將會影響到分析的品質，研究過程也發現雲遮的影響更大，因此本研究使用移動平均方式盡量減少此誤差。 |
| 三         | 所展示小林村的例子相當理想，但小林村畢竟是一個極端罕見的特例，同樣的方法，應用於一般中小型裸露地，效果如何呢？第四節案例分析，本來想好好看看這十處集水區。但只有半頁內容，也沒有結果呈現。期待到了期末，可以有完整的呈現。                                          | 期末報告中將呈現案例分析成果。                                         |

| 項次 | 審查意見                                                                 | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                          |
|----|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 四  | 本計畫研究流程建議翻譯成中文說明，另各階段所需時間亦建議補充供瞭解作業時程。                               | 感謝建議，研究流程圖已改為中文                                                                                                                                                                 |
| 五  | 本研究針對中南部山區選十處裸露地做為案例，請說明其考量之因素及原則為何？                                 | 感謝委員詢問，本研究參考36處大規模崩塌區選擇崩塌率變化趨勢最明顯的十處作為案例。                                                                                                                                       |
| 六  | 本研究除建立GEE APP 外，建議應針對各集水區崩塌後植生復育的成效進行分析，並分區、分地形、緯度等細部分析，以瞭解臺灣植物之回復力。 | 感謝委員建議，本年度計畫中透過 MODIS 影像的分析，已建立一套植生回復分析的流程與工具，並花費不少時間整併 Landsat 影像，根據委員的意見，本研究下半年已蒐集國家災害防救科技中心的網格化資料，並有初步的分析。但因氣候資料的解析度與衛星影像解析度差異過大，較難看出明顯關係。若有幸能爭取得明年度計畫，希望能持續針對植物回復力有更進一步的研究。 |
| 七  | 本研究所稱之崩塌地，是否宜調整為「裸露地」。                                               | 本研究混用崩塌地與裸露地。例如：由 2004 年至 2018 年的年度衛星影像辨識崩塌地之描述時，由於相關圖資經確認為崩塌地，故沿用之。其他時候，例如：透過本研究自行分析的土地覆蓋，若尚未確認為崩塌地時，將稱其為裸露地。                                                                  |

| 項次 | 審查意見                                | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                                |
|----|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 八  | P2-10 第五節所稱之「植生回復指標」，報告書內尚未見其應用？    | 期末報告中呈現植生回復指標之成果。                                                                                                                                                                     |
| 九  | 請補充第三節STL 方法中時間序列移動窗框選定大小之原則及其原因為何？ | 移動窗框選定大小時，主要考量此窗框大小是否足以包含季節變動特性或是年際間變動特性，過小的窗框大小將無法移除季節特性。                                                                                                                            |
| 十  | 建議能多就植生恢復時間進行分析，可作為後續災後復原能力之參考資料。   | 感謝委員建議，本研究下半年針對植生回復時間分析，提出以冪次模式描述植生回復的能力，其中冪次項參數即為與恢復時間息息相關的參數，透過此參數的特性分析，有機會將之與環境因子建立關係，這將會是未來努力的研究方向。                                                                               |
| 十一 | 請說明第四節所使用之方法如何應用於此研究中，並量化其分類準確度。    | 分類方法的部分在原先的規劃是希望能補足崩塌目錄只到 2018 年的問題，由於崩塌目錄在植生回復的研究上僅做為參考，為了能更專注於植生回復之研究，例如：冪次模式的評估。在研究過程中，決定在有限的時間內，將研究重點放在植生回復的分析上。第四節所提的分類方法，在本計畫中目前已完成可分析資料的整理，並完成訓練資料的選取，未來希望能夠過明年度計畫，完成土地覆蓋分類後，仔 |

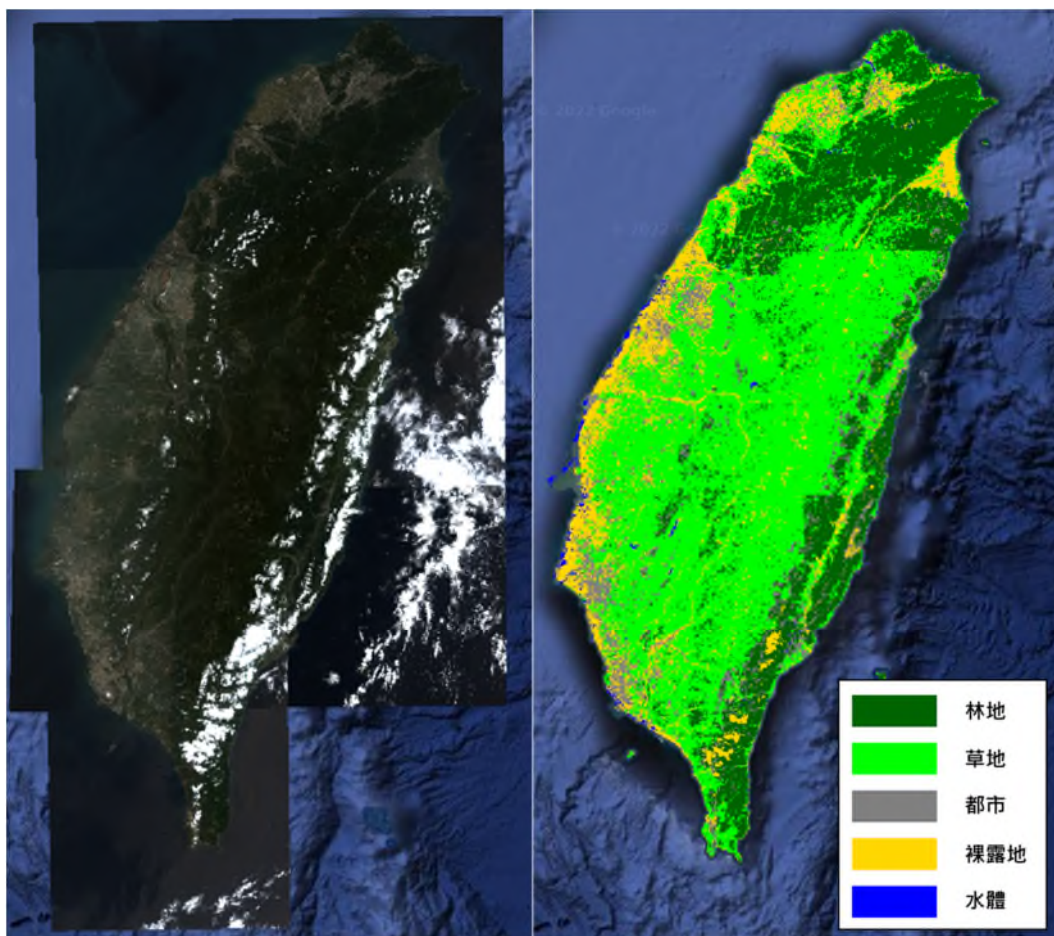
| 項次 | 審查意見 | 回覆辦理情形         |
|----|------|----------------|
|    |      | 細檢查成果並評估分類準確度。 |

#### 附錄四、期末審查意見暨回覆辦理情形

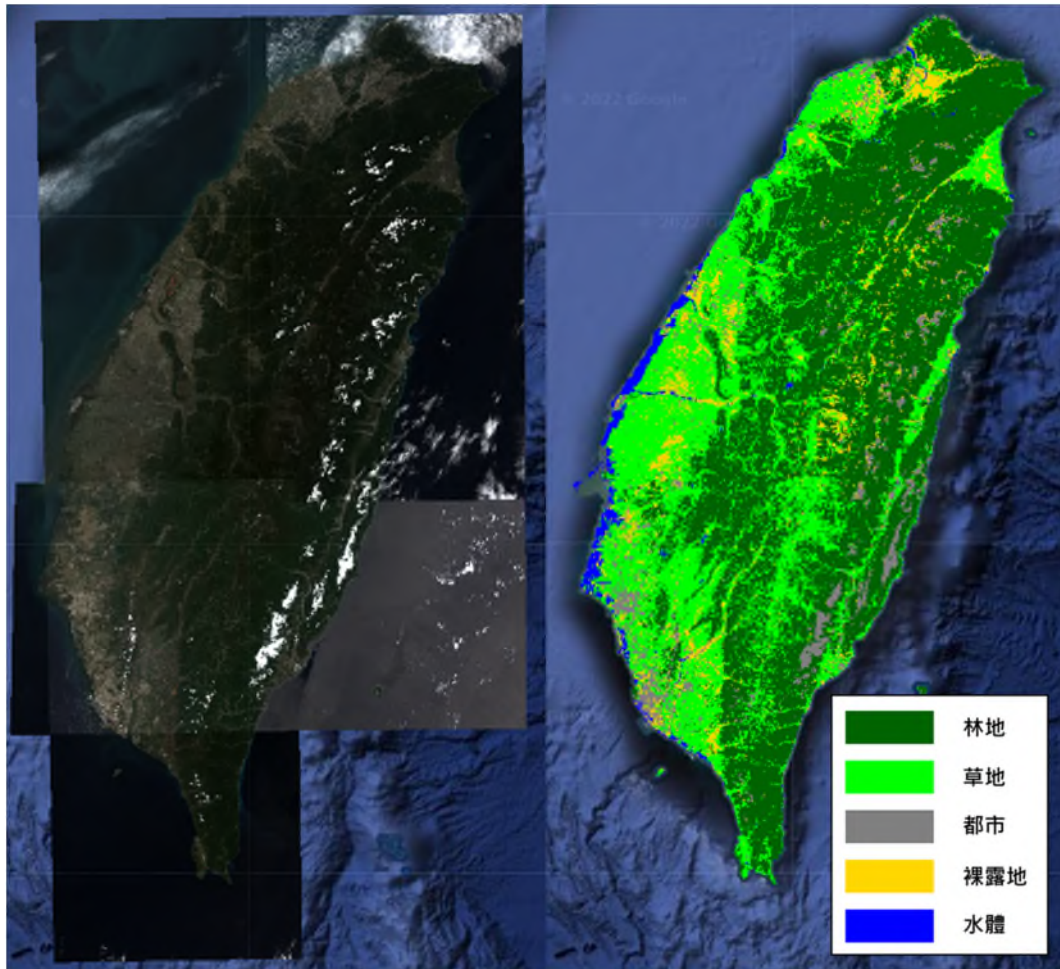
| 項次        | 審查意見                                                                | 回覆辦理情形                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 報告內容審查意見： |                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                    |
| 一         | 建議持續精進，俾未來導入坡地防災業務應用。                                               | 感謝委員建議，若有機會將於明年度計畫中持續精進。                                                                                                                                                                                                           |
| 二         | 專有名詞應統一(如 EE 與 GEE 等)且於第一次出現時定義簡稱，若後文提及以簡稱說明即可(如 NDVI 或 EE 等)。      | 感謝指正，相關名詞已統一為 GEE。                                                                                                                                                                                                                 |
| 三         | 圖 3-1 之圖例為何？大部分集水區受 2009 年莫拉克颱風影響，導致崩塌率於該年度一次性的上升，以對時間序列之斜率來判斷是否失真？ | 圖 3-1 的圖例顏色為崩塌率隨時間變化之趨勢，顏色越呈現紅色表示崩塌率之趨勢為增加，綠色則表示崩塌率之趨勢為逐年減少，黃色則表示崩塌率並未明顯的增加或減少。相關說明已更正於圖說之中。莫拉克事件發生於 2009 年，而分析資料為 2004 年至 2018 年，因此崩塌率的趨勢確實會受到 2009 年單一事件的影響，但若集水區內自 2009 年後逐漸回復至原有水平，則此單一事件的影響將會降低許多，因此崩塌率趨勢的正負值仍可反映出集水區的植生復原特性。 |

| 項次 | 審查意見                                                           | 回覆辦理情形                                                                                                                     |
|----|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 四  | 此主題為針對植生回復之討論，而分析使用2004-2008 資料無明顯崩塌，是否針對發生崩塌後的植生回復情形探討能較切合主題？ | 本研究主要針對莫拉克風災這類重大災害事件進行探討，為了解災後所受衝擊，必須先了解災害發生之前(2001-2008)的環境背景情形做為參考，因此在第 3-12 頁中才提及將資料分為兩群，莫拉克前(2001-2008)的資料用於計算平均的植生狀態。 |

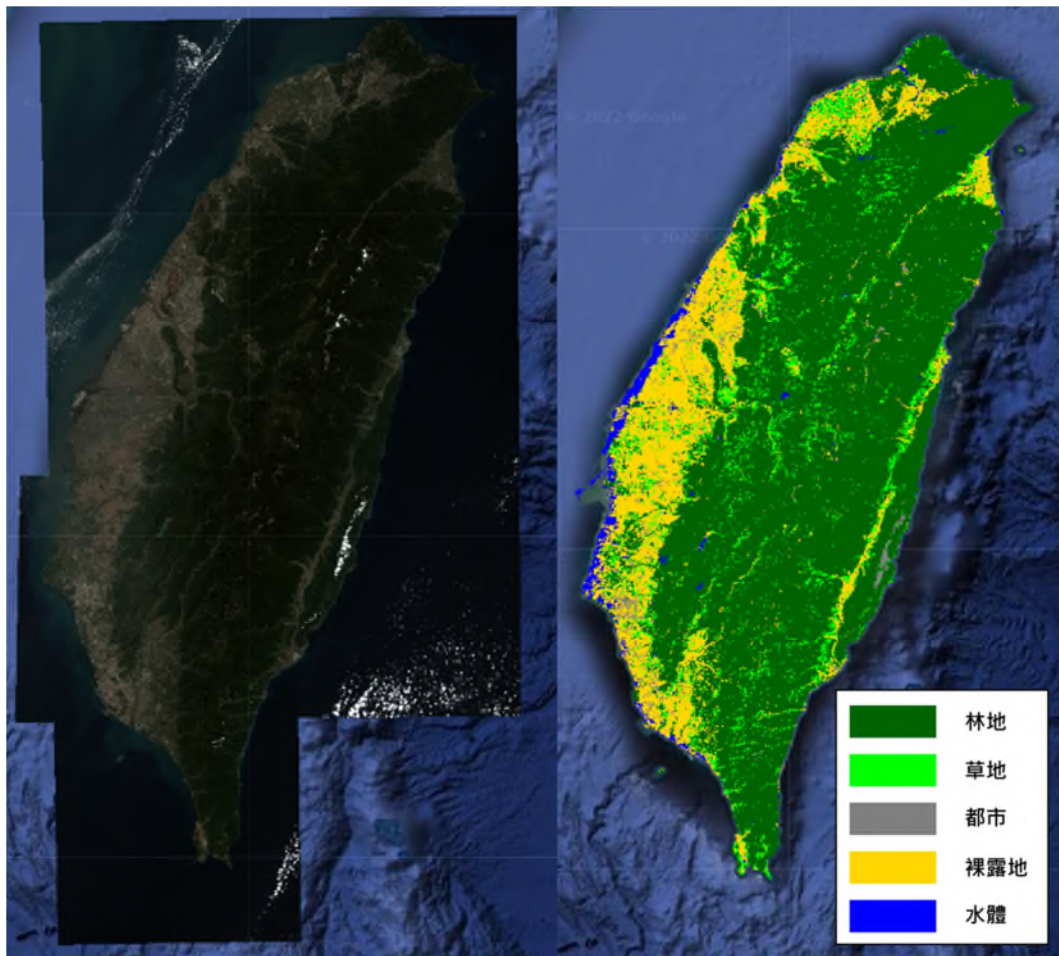
## 附錄五、2019-2022 土地覆蓋分類圖



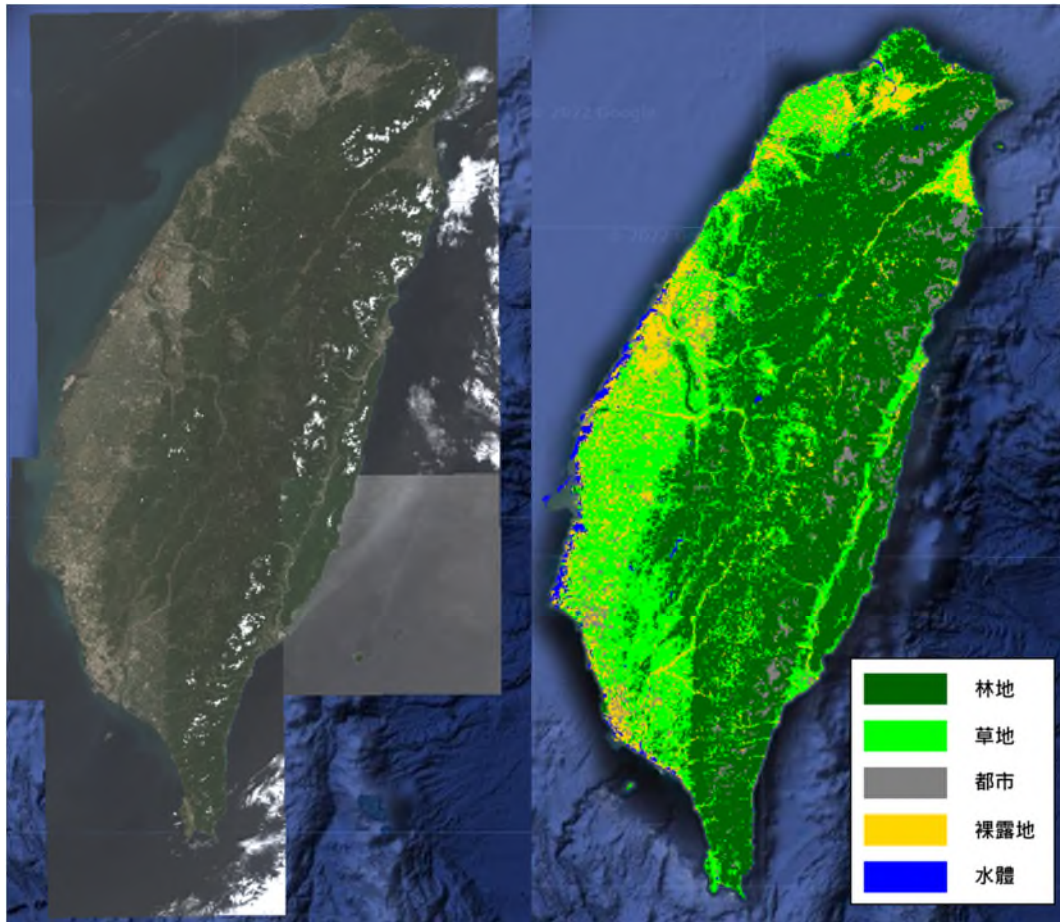
圖附-1. 2019 年 Sentinel-2 上半年挑選之影像(左)以及使用 SVM 分類後之土地覆蓋分類圖，然而此結果之草地與林地有許多混淆，須持續改善。



圖附-2. 2020 年 Sentinel-2 上半年挑選之影像(左)以及使用 SVM 分類後之土地覆蓋分類圖。



圖附-3. 2021 年 Sentinel-2 上半年挑選之影像(左)以及使用 SVM 分類後之土地覆蓋分類圖。



圖附-4. 2022 年 Sentinel-2 上半年挑選之影像(左)以及使用 SVM 分類後之土地覆蓋分類圖。

## 附錄六、衛星影像整理表

表附-1. 彙整 2019 年 Sentinel-2 雲遮較少之影像

| 衛星：Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A 年分：2019 |                         |           |                     |                       |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|---------------------|-----------------------|
| ID                                                            | CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE | MGRS_TILE | 主要涵蓋地區              | 特徵                    |
| COPERNICUS/S2_SR/20190131T022929_20190131T023934_T51RUJ       | 0.068981                | 51RUJ     | 新北一帶(一角角)           | 幾乎無雲遮                 |
| COPERNICUS/S2_SR/20190312T022549_20190312T023852_T51RUJ       | 0.005056                | 51RUJ     | 新北一帶(一角角)           | 幾乎無雲遮                 |
| COPERNICUS/S2_SR/20190126T022951_20190126T022953_T51RTH       | 7.04138                 | 51RTH     | 苗栗、新竹一帶             | 新竹部分雲遮及山區零星雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20190312T022549_20190312T023852_T51RTH       | 0.549932                | 51RTH     | 苗栗、新竹一帶             | 苗栗少量雲遮                |
| COPERNICUS/S2_SR/20190406T022551_20190406T024027_T51RTH       | 8.126035                | 51RTH     | 苗栗、新竹一帶             | 苗栗山區少部分無雲遮            |
| COPERNICUS/S2_SR/20190312T022549_20190312T023852_T50RRN       | 0.676186                | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 苗栗山區有少量雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20190615T022551_20190615T022552_T50RRN       | 3.331207                | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 苗栗山區有大片雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20190126T022951_20190126T022953_T50RRN       | 5.437494                | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 新竹有大片雲遮及山區零星雲遮        |
| COPERNICUS/S2_SR/20190327T022551_20190327T023815_T50RRN       | 13.862439               | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 苗栗靠深山部分較無雲遮           |
| COPERNICUS/S2_SR/20190327T022551_20190327T023815_T51QTG       | 1.733773                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 嘉義南投台中有少量雲遮           |
| COPERNICUS/S2_SR/20190312T022549_20190312T023852_T51QTG       | 7.363705                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 南投幾乎為雲遮，台中嘉義部分雲遮      |
| COPERNICUS/S2_SR/20190126T022951_20190126T022953_T51QTG       | 9.917487                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 嘉義幾乎為雲遮，南投台中雲林少量雲遮    |
| COPERNICUS/S2_SR/20190215T022801_20190215T023325_T51QTG       | 17.08769                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 沿海及山區零星雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20190327T022551_20190327T023815_T50QRM       | 2.227597                | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 嘉義南投台中有少量雲遮           |
| COPERNICUS/S2_SR/20190312T022549_20190312T023852_T50QRM       | 7.164993                | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 南投幾乎為雲遮，台中嘉義部分雲遮      |
| COPERNICUS/S2_SR/20190126T022951_20190126T022953_T50QRM       | 11.477258               | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 嘉義幾乎為雲遮，南投台中雲林少量雲遮    |
| COPERNICUS/S2_SR/20190302T022619_20190302T023810_T51QTF       | 5.484868                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 嘉義台南高雄屏東部分雲遮，台東幾乎為雲遮  |
| COPERNICUS/S2_SR/20190111T023049_20190111T023626_T51QTF       | 6.097265                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台南嘉義少量雲遮，台東幾乎為雲遮      |
| COPERNICUS/S2_SR/20190327T022551_20190327T023815_T51QTF       | 6.11639                 | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東幾乎為雲遮，台南高雄嘉義少量雲遮    |
| COPERNICUS/S2_SR/20190322T022549_20190322T023609_T51QTF       | 9.303954                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台南嘉義高雄部分雲遮，台東幾乎為雲遮    |
| COPERNICUS/S2_SR/20190215T022801_20190215T023325_T51QTF       | 11.909509               | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 高雄少量雲遮，台東幾乎為雲遮        |
| COPERNICUS/S2_SR/20190327T022551_20190327T023815_T50QRL       | 3.610675                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台南高雄少量雲遮，台東部分雲遮       |
| COPERNICUS/S2_SR/20190302T022619_20190302T023810_T50QRL       | 4.571952                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 嘉義台南高雄屏東台東有少量雲遮       |
| COPERNICUS/S2_SR/20190322T022549_20190322T023609_T50QRL       | 5.396098                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 屏東高雄台東交接處叫無雲遮，其他幾乎為雲遮 |
| COPERNICUS/S2_SR/20190215T022801_20190215T023325_T50QRL       | 8.021293                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東屏東高雄部分雲遮及山區零星雲遮     |
| COPERNICUS/S2_SR/20190411T022559_20190411T023827_T50QRL       | 8.228763                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 山區較無雲遮                |
| COPERNICUS/S2_SR/20190210T022839_20190210T023400_T50QRL       | 18.018404               | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 高雄市有較少雲遮              |
| COPERNICUS/S2_SR/20190317T022551_20190317T023842_T51QTE       | 6.150779                | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 部分雲遮                  |
| COPERNICUS/S2_SR/20190426T022551_20190426T023827_T51QTE       | 6.720854                | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 部分雲遮                  |
| COPERNICUS/S2_SR/20190322T022549_20190322T023609_T51QTE       | 6.775077                | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 部分雲遮                  |
| COPERNICUS/S2_SR/20190312T022549_20190312T023852_T51QTE       | 17.886354               | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 屏東下半部較無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20190411T022559_20190411T023827_T51QTE       | 19.448064               | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 台東有較少雲遮               |
| COPERNICUS/S2_SR/20190317T022551_20190317T023842_T50QRK       | 4.122757                | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 部分雲遮                  |
| COPERNICUS/S2_SR/20190426T022551_20190426T023827_T50QRK       | 9.508698                | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 部分雲遮                  |
| COPERNICUS/S2_SR/20190322T022549_20190322T023609_T50QRK       | 5.808153                | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 台東屏東下半為雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20190312T022549_20190312T023852_T51RUH       | 1.01009                 | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 宜蘭有少量雲遮及山區零星雲遮        |
| COPERNICUS/S2_SR/20190131T022929_20190131T023934_T51RUH       | 4.349747                | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 新竹苗栗部分雲遮，新北桃園宜蘭零星雲遮   |
| COPERNICUS/S2_SR/20190327T022551_20190327T023815_T51RUH       | 13.9865                 | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 新竹苗栗山區較無雲遮            |
| COPERNICUS/S2_SR/20190615T022551_20190615T022552_T51RUH       | 17.531155               | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 苗栗山區較無雲遮              |
| COPERNICUS/S2_SR/20190327T022551_20190327T023815_T51QUG       | 17.84791                | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 花蓮沿海較多雲遮              |
| COPERNICUS/S2_SR/20190302T022619_20190302T023810_T51QUG       | 23.476402               | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 南投較無雲遮                |
| COPERNICUS/S2_SR/20190620T022559_20190620T023831_T51QUG       | 27.796594               | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 沿海少量雲遮及山區零星雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20190215T022801_20190215T023325_T51QUG       | 35.886761               | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 南投較無雲遮                |
| COPERNICUS/S2_SR/20190131T022929_20190131T023934_T51QUG       | 37.789954               | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 花蓮沿海少部分無雲遮            |
| COPERNICUS/S2_SR/20190406T022551_20190406T024027_T51QUG       | 49.625226               | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 南投有較少雲遮               |
| COPERNICUS/S2_SR/20190111T023049_20190111T023626_T51QUG       | 21.251524               | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 花蓮有少部分無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20190111T023049_20190111T023626_T51QUF       | 8.137694                | 51QUF     | 花蓮、台東一帶             | 少部分無雲遮                |
| COPERNICUS/S2_SR/20190302T022619_20190302T023810_T51QUF       | 18.433818               | 51QUF     | 花蓮、台東一帶             | 少部分無雲遮                |

表附-2. 彙整 2020 年 Sentinel-2 雲遮較少之影像

| 衛星：Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A 年分：2020 |                         |           |                     |                |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|---------------------|----------------|
| ID                                                            | CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE | MGRS_TILE | 主要涵蓋地區              | 特徵             |
| COPERNICUS/S2_SR/20200210T022831_20200210T022829_T51RUJ       | 12.246051               | 51RUJ     | 新北一帶(一角角)           | 少量雲遮           |
| COPERNICUS/S2_SR/20200316T022549_20200316T023705_T51RUJ       | 12.82876                | 51RUJ     | 新北一帶(一角角)           | 幾乎無雲遮          |
| COPERNICUS/S2_SR/20200210T022831_20200210T022829_T51RTH       | 7.04138                 | 51RTH     | 苗栗、新竹一帶             | 新竹部分雲遮及山區零星雲遮  |
| COPERNICUS/S2_SR/20200131T022931_20200131T023848_T51RTH       | 2.912124                | 51RTH     | 苗栗、新竹一帶             | 桃園零星雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200121T023011_20200121T023013_T51RTH       | 11.991071               | 51RTH     | 苗栗、新竹一帶             | 幾乎無雲遮          |
| COPERNICUS/S2_SR/20200210T022831_20200210T022829_T50RRN       | 0.298247                | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 苗栗零星雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200131T022931_20200131T023848_T50RRN       | 2.982525                | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 幾乎無雲遮          |
| COPERNICUS/S2_SR/20200121T023011_20200121T023013_T50RRN       | 13.648481               | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 幾乎無雲遮          |
| COPERNICUS/S2_SR/20200131T022931_20200131T023848_T51QTG       | 0.613804                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 山區部分雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200225T022659_20200225T023812_T51QTG       | 0.869334                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 南投台中及沿海有零星雲遮   |
| COPERNICUS/S2_SR/20200121T023011_20200121T023013_T51QTG       | 0.931079                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 幾乎無雲遮          |
| COPERNICUS/S2_SR/20200225T022659_20200225T023812_T50QRM       | 0.868829                | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 山區及沿海有零星雲遮     |
| COPERNICUS/S2_SR/20200121T023011_20200121T023013_T50QRM       | 0.915747                | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 幾乎無雲遮          |
| COPERNICUS/S2_SR/20200131T022931_20200131T023848_T50QRM       | 1.288201                | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 山區零星雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200301T022621_20200301T024038_T51QTF       | 1.606164                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東嘉義少量雲遮       |
| COPERNICUS/S2_SR/20200505T022549_20200505T023755_T51QTF       | 2.144363                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台南高雄屏東台東少量雲遮   |
| COPERNICUS/S2_SR/20200116T023029_20200116T023031_T51QTF       | 3.792992                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東有較多雲遮        |
| COPERNICUS/S2_SR/20200420T022551_20200420T023824_T51QTF       | 6.413274                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 高雄屏東較無雲遮       |
| COPERNICUS/S2_SR/20200604T022549_20200604T023825_T51QTF       | 7.908196                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東部分地區無雲遮      |
| COPERNICUS/S2_SR/20200301T022621_20200301T024038_T50QRL       | 0.570609                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 少量雲遮           |
| COPERNICUS/S2_SR/20200116T023029_20200116T023031_T50QRL       | 1.291444                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東部分雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200505T022549_20200505T023755_T50QRL       | 1.516621                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 高雄屏東台東零星雲遮     |
| COPERNICUS/S2_SR/20200131T022931_20200131T023848_T50QRL       | 3.650438                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東部分雲遮及高雄零星雲遮  |
| COPERNICUS/S2_SR/20200604T022549_20200604T023825_T50QRL       | 7.23193                 | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東較無雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200301T022621_20200301T024038_T51QTE       | 0.379402                | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 屏東高雄有零星雲遮      |
| COPERNICUS/S2_SR/20200505T022549_20200505T023755_T51QTE       | 1.091888                | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 零星雲遮           |
| COPERNICUS/S2_SR/20200116T023029_20200116T023031_T51QTE       | 1.706016                | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 屏東高雄較少雲遮       |
| COPERNICUS/S2_SR/20200131T022931_20200131T023848_T51QTE       | 12.471044               | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 台東部分雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200415T022549_20200415T023819_T51QTE       | 15.471007               | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 山區部分雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200301T022621_20200301T024038_T50QRK       | 0.322783                | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 屏東少量雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200116T023029_20200116T023031_T50QRK       | 1.486982                | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 屏東高雄較少雲遮       |
| COPERNICUS/S2_SR/20200131T022931_20200131T023848_T50QRK       | 8.206953                | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 台東部分雲遮及沿海零星雲遮  |
| COPERNICUS/S2_SR/20200420T022551_20200420T023824_T50QRK       | 11.862164               | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 屏東高雄較少雲遮       |
| COPERNICUS/S2_SR/20200415T022549_20200415T023819_T50QRK       | 15.970674               | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 屏東台東交界有少量雲遮    |
| COPERNICUS/S2_SR/20200225T022659_20200225T023812_T51RUH       | 10.824022               | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 山區及沿海少量雲遮      |
| COPERNICUS/S2_SR/20200430T022551_20200430T023826_T51RUH       | 14.873101               | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 桃園新竹苗栗山區較無雲遮   |
| COPERNICUS/S2_SR/20200326T022549_20200326T023712_T51RUH       | 15.599606               | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 桃園台北沿海較無雲遮     |
| COPERNICUS/S2_SR/20200321T022551_20200321T023819_T51RUH       | 19.922923               | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 基隆台北新北較無雲遮     |
| COPERNICUS/S2_SR/20200604T022549_20200604T023825_T51RUH       | 22.132133               | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 桃園較無雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200316T022549_20200316T023705_T51RUH       | 25.150619               | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 新竹苗栗山區較無雲遮     |
| COPERNICUS/S2_SR/20200121T023011_20200121T023013_T51RUH       | 32.325079               | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 桃園新竹較無雲遮       |
| COPERNICUS/S2_SR/20200225T022659_20200225T023812_T51QUG       | 5.211728                | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 花蓮較多雲遮及南投零星雲遮  |
| COPERNICUS/S2_SR/20200301T022621_20200301T024038_T51QUG       | 8.755301                | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 南投較無雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200116T023029_20200116T023031_T51QUG       | 10.103212               | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 南投較無雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200430T022551_20200430T023826_T51QUG       | 25.738644               | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 花蓮幾乎為雲遮及南投零星雲遮 |
| COPERNICUS/S2_SR/20200604T022549_20200604T023825_T51QUG       | 26.037254               | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 花蓮較少雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200215T022759_20200215T023959_T51QUG       | 32.44382                | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 南投較無雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200116T023029_20200116T023031_T51QUF       | 12.926019               | 51QUF     | 花蓮、台東一帶             | 少部分河川及山區無雲遮    |
| COPERNICUS/S2_SR/20200505T022549_20200505T023755_T51QUF       | 16.405271               | 51QUF     | 花蓮、台東一帶             | 山區較無雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200614T022549_20200614T023825_T51QUF       | 20.746186               | 51QUF     | 花蓮、台東一帶             | 沿海較無雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20200604T022549_20200604T023825_T51QUF       | 40.817512               | 51QUF     | 花蓮、台東一帶             | 沿海較多雲遮         |

表附-3. 彙整 2021 年 Sentinel-2 雲遮較少之影像

| 衛星：Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A 年分：2021 |                         |           |                     |                   |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|---------------------|-------------------|
| ID                                                            | CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE | MGRS_TILE | 主要涵蓋地區              | 特徵                |
| COPERNICUS/S2_SR/20210316T022551_20210316T023226_T51RUJ       | 0.005186                | 51RUJ     | 新北一帶(一角角)           | 山區零星雲遮            |
| COPERNICUS/S2_SR/20210115T023041_20210115T023713_T51RUJ       | 0.542434                | 51RUJ     | 新北一帶(一角角)           | 幾乎無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20210316T022551_20210316T023226_T51RTH       | 0.078474                | 51RTH     | 苗栗、新竹一帶             | 幾乎無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20210130T022939_20210130T022934_T51RTH       | 0.109124                | 51RTH     | 苗栗、新竹一帶             | 山區零星雲遮            |
| COPERNICUS/S2_SR/20210204T022911_20210204T024032_T51RTH       | 0.174767                | 51RTH     | 苗栗、新竹一帶             | 幾乎無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20210115T023041_20210115T023713_T51RTH       | 0.967134                | 51RTH     | 苗栗、新竹一帶             | 幾乎無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20210120T023019_20210120T023019_T51RTH       | 2.955378                | 51RTH     | 苗栗、新竹一帶             | 幾乎無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20210130T022939_20210130T022934_T50RRN       | 0.166446                | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 零星雲遮              |
| COPERNICUS/S2_SR/20210204T022911_20210204T024032_T50RRN       | 0.17123                 | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 幾乎無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20210316T022551_20210316T023226_T50RRN       | 0.176864                | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 零星雲遮              |
| COPERNICUS/S2_SR/20210115T023041_20210115T023713_T50RRN       | 1.013437                | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 幾乎無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20210120T023019_20210120T023019_T50RRN       | 4.361273                | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 幾乎無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20210316T022551_20210316T023226_T51QTG       | 0.160816                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 零星雲遮              |
| COPERNICUS/S2_SR/20210130T022939_20210130T022934_T51QTG       | 0.417481                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 零星雲遮              |
| COPERNICUS/S2_SR/20210115T023041_20210115T023713_T51QTG       | 0.480954                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 幾乎無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20210316T022551_20210316T023226_T50QRM       | 0.511243                | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 零星雲遮              |
| COPERNICUS/S2_SR/20210130T022939_20210130T022934_T50QRM       | 0.607198                | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 山區少量雲遮            |
| COPERNICUS/S2_SR/20210115T023041_20210115T023713_T50QRM       | 1.035259                | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 幾乎無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20210515T022551_20210515T023226_T50QRM       | 3.140093                | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 沿海及山區零星雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20210115T023041_20210115T023713_T51QTF       | 0.148036                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 山區很零星的雲遮          |
| COPERNICUS/S2_SR/20210204T022911_20210204T024032_T51QTF       | 2.478308                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東幾乎為雲遮及山區少量雲遮    |
| COPERNICUS/S2_SR/20210515T022551_20210515T023226_T51QTF       | 4.858193                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東幾乎為雲遮           |
| COPERNICUS/S2_SR/20210125T023001_20210125T023000_T51QTF       | 5.454829                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東幾乎為雲遮及山區少量雲遮    |
| COPERNICUS/S2_SR/20210115T023041_20210115T023713_T50QRL       | 0.271618                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 幾乎無雲遮             |
| COPERNICUS/S2_SR/20210204T022911_20210204T024032_T50QRL       | 1.910296                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東幾乎為雲遮、沿海及山區零星雲遮 |
| COPERNICUS/S2_SR/20210515T022551_20210515T023226_T50QRL       | 2.965967                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東部分雲遮及沿海零星雲遮     |
| COPERNICUS/S2_SR/20210301T022629_20210301T023904_T50QRL       | 4.799348                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東及沿海部分雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20210125T023001_20210125T023000_T50QRL       | 3.976678                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東部分雲遮及山區零星雲遮     |
| COPERNICUS/S2_SR/20210115T023041_20210115T023713_T51QTE       | 0.534331                | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 山區零星雲遮            |
| COPERNICUS/S2_SR/20210130T022939_20210130T022934_T51QTE       | 19.062253               | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 山區及沿海少量雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20210614T022551_20210614T023310_T51QTE       | 26.996012               | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 台東較無雲遮            |
| COPERNICUS/S2_SR/20210115T023041_20210115T023713_T50QRK       | 0.200016                | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 山區零星雲遮            |
| COPERNICUS/S2_SR/20210130T022939_20210130T022934_T50QRK       | 10.209774               | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 沿海及山區少量雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20210219T022729_20210219T023951_T50QRK       | 15.287262               | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 沿海及台東部分雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20210614T022551_20210614T023310_T50QRK       | 28.696275               | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 台東較無雲遮            |
| COPERNICUS/S2_SR/20210115T023041_20210115T023713_T51RUH       | 0.179333                | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 山區零星雲遮            |
| COPERNICUS/S2_SR/20210316T022551_20210316T023226_T51RUH       | 3.92289                 | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 山區較無雲遮            |
| COPERNICUS/S2_SR/20210115T023041_20210115T023713_T51QUG       | 0.131761                | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 山區少量雲遮或是積雪        |
| COPERNICUS/S2_SR/20210125T023001_20210125T023000_T51QUG       | 8.626257                | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 花蓮沿海大量雲遮          |
| COPERNICUS/S2_SR/20210115T023041_20210115T023713_T51QUF       | 2.518714                | 51QUF     | 花蓮、台東一帶             | 台東沿海少量雲遮          |
| COPERNICUS/S2_SR/20210326T022551_20210326T023821_T51QUF       | 51.065742               | 51QUF     | 花蓮、台東一帶             | 部分雲遮              |

表附-4. 彙整 2022 年 Sentinel-2 雲遮較少之影像

| 衛星：Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A 年分：2022 |                         |           |                     |                |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|---------------------|----------------|
| ID                                                            | CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE | MGRS_TILE | 主要涵蓋地區              | 特徵             |
| COPERNICUS/S2_SR/20220301T022631_20220301T023903_T51RUJ       | 3.210026                | 51RUJ     | 新北一帶(一角角)           | 零星雲遮           |
| COPERNICUS/S2_SR/20220311T022551_20220311T023921_T51RUJ       | 36.742908               | 51RUJ     | 新北一帶(一角角)           | 零星雲遮           |
| COPERNICUS/S2_SR/20220311T022551_20220311T023921_T51RTH       | 0.029884                | 51RTH     | 苗栗、新竹一帶             | 山區零星雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220311T022551_20220311T023921_T50RRN       | 0.02488                 | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 山區零星雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220115T023039_20220115T023035_T50RRN       | 36.190603               | 50RRN     | 苗栗、新竹市一帶            | 苗栗較無雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220311T022551_20220311T023921_T51QTG       | 0.148234                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 山區零星雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220115T023039_20220115T023035_T51QTG       | 4.071236                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 山區較多雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220110T023101_20220110T023721_T51QTG       | 8.687265                | 51QTG     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 山區部分雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220311T022551_20220311T023921_T50QRM       | 0.150464                | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 山區零星雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220115T023039_20220115T023035_T50QRM       | 3.908903                | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 山區較多雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220110T023101_20220110T023721_T50QRM       | 13.296383               | 50QRM     | 台中、彰化、雲林、嘉義、南投一帶    | 山區部分雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220311T022551_20220311T023921_T51QTF       | 1.166403                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東部分雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220110T023101_20220110T023721_T51QTF       | 3.008488                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 高雄較無雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220115T023039_20220115T023035_T51QTF       | 7.776518                | 51QTF     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東幾乎為雲遮        |
| COPERNICUS/S2_SR/20220311T022551_20220311T023921_T50QRL       | 0.696069                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東部分雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220110T023101_20220110T023721_T50QRL       | 2.3909                  | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 山區較多雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220115T023039_20220115T023035_T50QRL       | 3.267606                | 50QRL     | 嘉義、台南、高雄、屏東、台東一帶    | 台東幾乎為雲遮        |
| COPERNICUS/S2_SR/20220115T023039_20220115T023035_T51QTE       | 2.010763                | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 台東恆春一帶幾乎為雲遮    |
| COPERNICUS/S2_SR/20220306T022549_20220306T023829_T51QTE       | 6.562765                | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 台東幾乎為雲遮及沿海零星雲遮 |
| COPERNICUS/S2_SR/20220110T023101_20220110T023721_T51QTE       | 6.616113                | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 屏東部分雲遮及沿海零星雲遮  |
| COPERNICUS/S2_SR/20220311T022551_20220311T023921_T51QTE       | 6.966241                | 51QTE     | 屏東、台東一帶             | 部份雲遮           |
| COPERNICUS/S2_SR/20220115T023039_20220115T023035_T50QRK       | 1.600608                | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 台東恆春一帶幾乎為雲遮    |
| COPERNICUS/S2_SR/20220311T022551_20220311T023921_T50QRK       | 2.086052                | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 部份雲遮           |
| COPERNICUS/S2_SR/20220306T022549_20220306T023829_T50QRK       | 3.186115                | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 台東幾乎為雲遮及沿海零星雲遮 |
| COPERNICUS/S2_SR/20220110T023101_20220110T023721_T50QRK       | 6.541604                | 50QRK     | 屏東、台東一帶             | 屏東部分雲遮及沿海零星雲遮  |
| COPERNICUS/S2_SR/20220311T022551_20220311T023921_T51RUH       | 7.011238                | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 新北宜蘭部分雲遮       |
| COPERNICUS/S2_SR/20220410T022551_20220410T023825_T51RUH       | 42.230451               | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 新北部分無雲遮        |
| COPERNICUS/S2_SR/20220624T022539_20220624T023819_T51RUH       | 46.07881                | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 少部分無雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220301T022631_20220301T023903_T51RUH       | 19.608861               | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 基隆台北苗栗山區較無雲遮   |
| COPERNICUS/S2_SR/20220425T022549_20220425T023824_T51RUH       | 33.701766               | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 新竹苗栗宜蘭少部分無雲遮   |
| COPERNICUS/S2_SR/20220316T022549_20220316T023828_T51RUH       | 43.3056                 | 51RUH     | 新竹、桃園、新北、台北、基隆、宜蘭一帶 | 苗栗新竹桃園較無雲遮     |
| COPERNICUS/S2_SR/20220311T022551_20220311T023921_T51QUG       | 6.104233                | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 花蓮較多雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220624T022539_20220624T023819_T51QUG       | 12.233775               | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 花蓮沿海少部分無雲遮     |
| COPERNICUS/S2_SR/20220415T022549_20220415T023801_T51QUG       | 31.008035               | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 花蓮大量雲遮         |
| COPERNICUS/S2_SR/20220301T022631_20220301T023903_T51QUG       | 37.196419               | 51QUG     | 花蓮、南投一帶             | 沿海及山區有零星雲遮     |
| COPERNICUS/S2_SR/20220530T022601_20220530T023831_T51QUF       | 9.634849                | 51QUF     | 花蓮、台東一帶             | 山區及沿海零星雲遮      |
| COPERNICUS/S2_SR/20220311T022551_20220311T023921_T51QUF       | 10.293897               | 51QUF     | 花蓮、台東一帶             | 山區及沿海部分雲遮      |
| COPERNICUS/S2_SR/20220110T023101_20220110T023721_T51QUF       | 48.427319               | 51QUF     | 花蓮、台東一帶             | 台東山區部分無雲遮      |
| COPERNICUS/S2_SR/20220619T022541_20220619T023815_T51QUF       | 55.256337               | 51QUF     | 花蓮、台東一帶             | 山區少部分無雲遮       |