



以傳奇衛星探索大地的歷史傷痕—— 山坡地長期裸露地監測

蘇元風／國家災害防救科技中心坡地與洪旱災害組 副研究員

2016 年底自然雜誌刊登了一篇文章，文章中使用了 300 萬幅衛星影像，追蹤全球 32 年來水體的分佈，以及其隨著時間的變化^[1]，該文章作者使用的影像正是來自於美國的傳奇衛星——大地衛星（Landsat）。從 1972 年發射的大地衛星 1 號，到現在的大地衛星 8 號，近 50 年中以蒐集了約 700 萬幅影像，被廣泛應用在地球自然資源監測，大大提升了生態、水資源、災害等領域的研究視野。本文蒐集 1972 年至 2018 年之 Landsat 系列衛星，監測山區裸露地的長期變動趨勢，以曾文水庫集水區為例。

前言

開放大數據（Open Big Data）的時代正湧湧地朝我們而來，自從 2008 年美國地質調查局（U. S. Geological Survey, USGS）開放大地衛星（Landsat）自 1972 年所拍攝的衛星影像後，至今已下載超過 2 千 5 百萬圖幅（圖 1），科學家使用這些影像於生態、水資源、森林火災、淹水、崩落地、糧食等領域之研究，大大提升了研究的視野。據統計，在 2011 年共有 238 萬幅 Landsat 影像下載數，其為美國帶來的經濟效益達 180 萬美元的效益，而這僅是美國境內的數據^[2]。

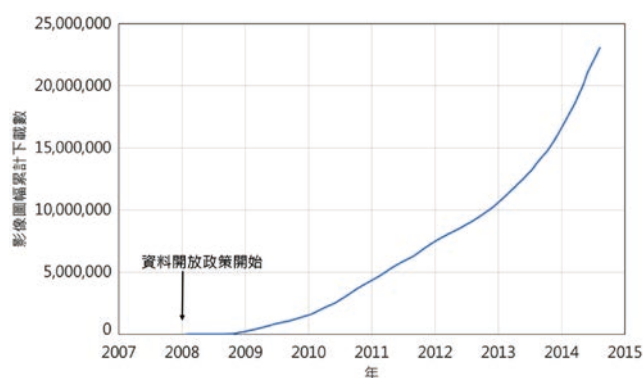


圖 1 Landsat 影像圖幅累計下載次數（重繪自 USGS）^[3]

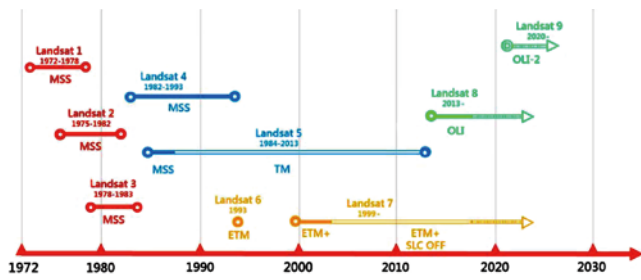
大地衛星的傳奇事蹟

近半世紀的守候，綜觀全覽的觀察

大地衛星有哪些傳奇事蹟？列舉如下：

- Landsat 1 是全球第一個地球資源觀測衛星，於 1972 年 7 月 23 日發射。
- Landsat 5 的設計壽命為 3 年，但在科學家的努力下，自 1984 年 3 月開始到 2013 年 6 月，整整運行了 28 年 10 個月，是金氏世界紀錄中運行時間最長的單顆地球觀測衛星。
- Landsat 系列衛星是目前運行最久且影像資料紀錄最完整的衛星，至 2018 年已運行 46 年，且 Landsat 9 衛星規劃於 2020 年底發射，可望使運行年限的紀錄超過半個世紀（圖 2）。

大地系列衛星自 1972 年發射第一顆 Landsat 1 衛星後，至今 40 多年期間，大地系列衛星共拍攝了超過 700 萬張影像，各衛星所拍攝的數量以 Landsat 5 最多，共約 250 萬張影像。雖然大地衛星的軌道涵蓋全球各地，然而受到氣候影響，在全球各地所拍攝的影像數量也不盡相同，以美加地區、東亞、澳洲等地重複拍攝數量最多^[5]。

圖 2 大地衛星系列時間線 (重繪自 USGS)^[4]

大地衛星的特性

察你所不察，及你所不能及

人眼所能感測的電磁波段稱為可見光 (visible light)，波長範圍約為 0.4 ~ 0.7 微米 (= 10^{-6} 公尺) 之間，衛星感測器能感測的範圍通常較人眼廣，且通常有超過三個波段，故稱為多光譜感測器 (multi-spectral

radiometer)。表 1 為 Landsat 系列衛星感測器之波段所對應之電磁波長範圍。由表可發現 Landsat 1 ~ 4 的 MSS 感測器，只有四個波段；而 Landsat 8 的 OLI 感測器則有 11 個波段，這些波段的別名如表所示，其反應出該波段的特性，例如：Cirrus 代表該波段可用於感測捲雲；TIR-2 則為第二個熱紅外光波段。空間解析度的部分，MSS 感測器之影像產品為 60 公尺，TM、ETM+、OLI 等感測器之影像產品為 30 公尺；另外，全譜態波段 (Panchromatic) 則為 15 公尺。這些不同波段的影像可分別反映出不同地表物體的在該波段的反射特性，若以藍光、綠光、紅光波段組合為彩色影像，即為真色影像 (true color image)，若以其他波段組合為彩色影像，即為假色影像 (false color image)，如圖 3 為 1998 年 Landsat 5 拍攝之臺灣地區影像，分別以不同波段組合之彩色影像呈現臺灣不同的樣貌。

表 1 Landsat 系列衛星感測器波段之波長

(單位：微米 = 10^{-6} 公尺)

Sensor	Landsat 1 MSS	Landsat 2 MSS	Landsat 3 MSS	Landsat 4 MSS	Landsat 5 TM	Landsat 7 ETM+	Landsat 8 OLI
Coastal Blue							0.43 ~ 0.45
Blue					0.45 ~ 0.52	0.45 ~ 0.52	0.45 ~ 0.51
Green	0.50 ~ 0.60	0.50 ~ 0.60	0.50 ~ 0.60	0.50 ~ 0.60	0.52 ~ 0.60	0.52 ~ 0.60	0.53 ~ 0.59
Red	0.60 ~ 0.70	0.60 ~ 0.70	0.60 ~ 0.70	0.60 ~ 0.70	0.63 ~ 0.69	0.63 ~ 0.69	0.64 ~ 0.67
Panchromatic						0.52 ~ 0.90	0.50 ~ 0.86
NIR*	0.70 ~ 0.80	0.70 ~ 0.80	0.70 ~ 0.80	0.70 ~ 0.80	0.76 ~ 0.90	0.77 ~ 0.90	0.85 ~ 0.88
NIR-2	0.80 ~ 1.10	0.80 ~ 1.10	0.80 ~ 1.10	0.80 ~ 1.10			
Cirrus							1.36 ~ 1.38
SWIR-1*					1.55 ~ 1.75	1.55 ~ 1.75	1.57 ~ 1.65
SWIR-2					2.08 ~ 2.35	2.09 ~ 2.35	2.11 ~ 2.29
TIR*					10.40 ~ 12.50	10.40 ~ 12.50	10.60 ~ 11.19
TIR-2							11.50 ~ 12.51

*NIR：近紅外光；SWIR：短波紅外光；TIR：熱紅外光

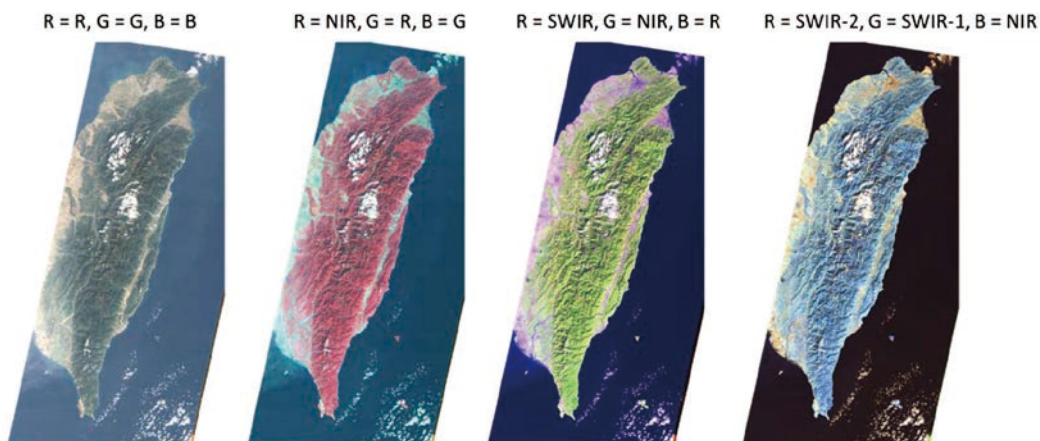


圖 3 1998 年 Landsat 5 拍攝之臺灣地區影像，左圖為真色影像，其他三圖為不同波段組合之假色影像 (WRS Path: 117, Row: 43-45)

集水區裸露地監測

近 20 年來受到颱風、豪雨、地震、人為開發等影響，山區裸露地逐年增加，然而其長期的增加趨勢為何？空間分布為何？為回答上述的問題，本文以曾文水庫集水區為研究區域，蒐整 1972 年至 2011 年間臺灣地區的 Landsat 影像（圖 4）。

由衛星影像分析土地覆蓋的方法很多，在此不詳述，影像分析的步驟摘要如下：

1. 影像拼接：將 Path: 117、Row: 43-45 的條帶影像圖幅拼接，拼接後影像大小 8000×14000 。
2. 幾何校正：影像下載後本身具有經緯度坐標系統，然而與臺灣地區常用的 97 二度分帶有些微差異，故透過地面控制點將影像定位為 97 二度分帶。
3. 切出研究區域影像：研究區域為曾文水庫集水區。
4. 圈選訓練樣本：本文選擇以 2009 年 8 月 27 日的影像挑選訓練樣本（圖 5），土地覆蓋類別分為六類：裸露地、植被、水體、漂流木、雲遮、陰影。
5. 分類方法為貝氏分類法（Bayesian Classifier）：以紅光、近紅外光、短波紅外光等波段組合為輸入變數。
6. 輸出為前述之六種土地覆蓋類別。

分析後挑選出 1984 年至 2011 年的土地覆蓋分類圖（圖 6），發現曾文水庫集水區在 2009 年莫拉克颱風

後，裸露地大量增加，其空間分布可由圖 6 看出；時間上的趨勢則可圖 7 中看出，其中累積百分比為整個集水區的各種土地覆蓋佔整個集水區的累積比例，植被所佔比例由 1984 年的 96.3% 下降至 2011 年的 92.9%；裸露地則從 1~2% 增加至 3~4%，特別是在 2009 年莫拉克颱風之後即上升至 4.07%；水體所佔比例則無明顯增加或減少趨勢，水體面積受到水文乾濕季節水庫蓄水量高低影響較顯著。

傳奇還會再延續？

Landsat 影像開放資料政策帶來許多好處，使得許多經費有限的科學家或機構有大量且珍貴圖資可供使用；然而，也由於此資料的大受歡迎，2018 年 4 月的一篇 Nature 期刊新聞顯示，美國政府正考慮要針對 Landsat 影像下載收費^[6]，若真的實施收費政策，勢必將使得 Landsat 影像使用率下降，部份使用者可能轉向其他免費衛星影像。例如：歐洲太空總署（ESA）運作的 Sentinel 系列衛星影像。Sentinel 系列衛星任務為歐洲哥白尼（Copernicus）計畫之主要任務之一，其中 Seneinel-1 衛星提供 C 波段之雷達影像；Sentinel-2 則提供多光譜光學影像，與 Landsat 系列衛星類似，具有 30 公尺之空間解析度；Sentinel-3 則主要設計針

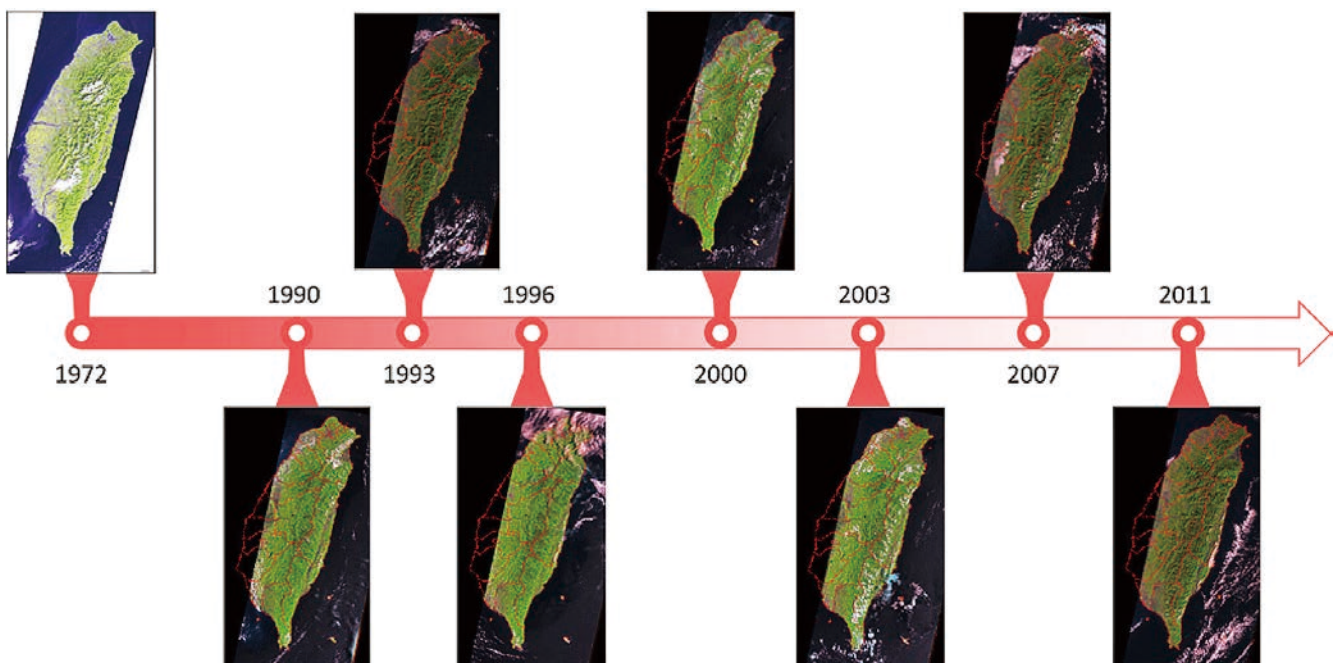


圖 4 1972 年至 2011 年臺灣地區假色影像（WRS Path: 117, Row: 43-45）

2009239

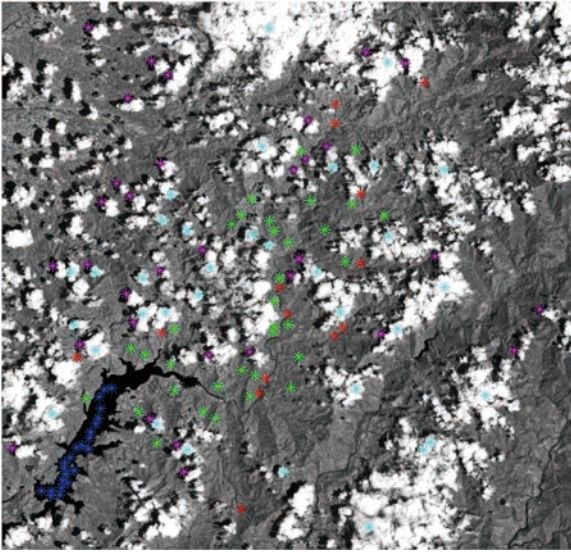


圖 5 土地覆蓋訓練樣本（2009 年 8 月 27 日之假色影像，圖中方格標示出各類別訓練樣本點之位置，紅色：裸露地，綠色：植被，深藍色：水體，黑色：漂流木，淺藍：雲遮，粉紫色：陰影）

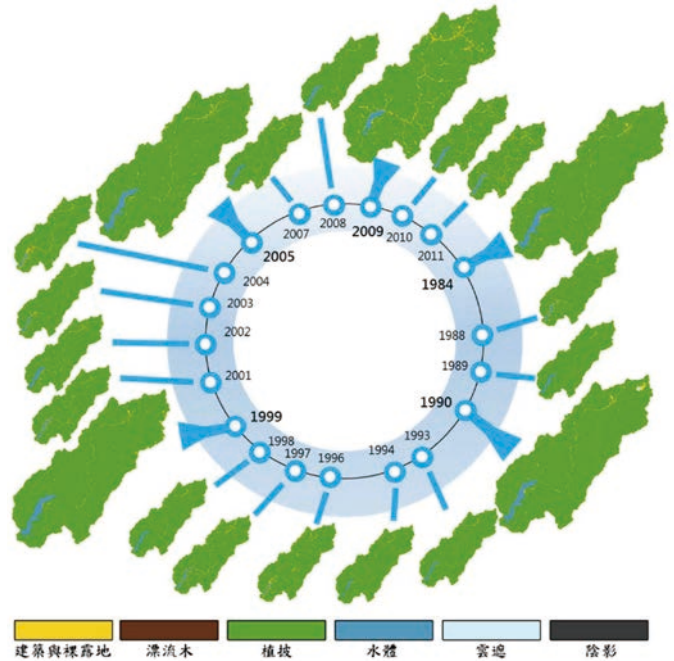


圖 6 1984 年至 2011 年曾文水庫集水區土地覆蓋分類結果圖

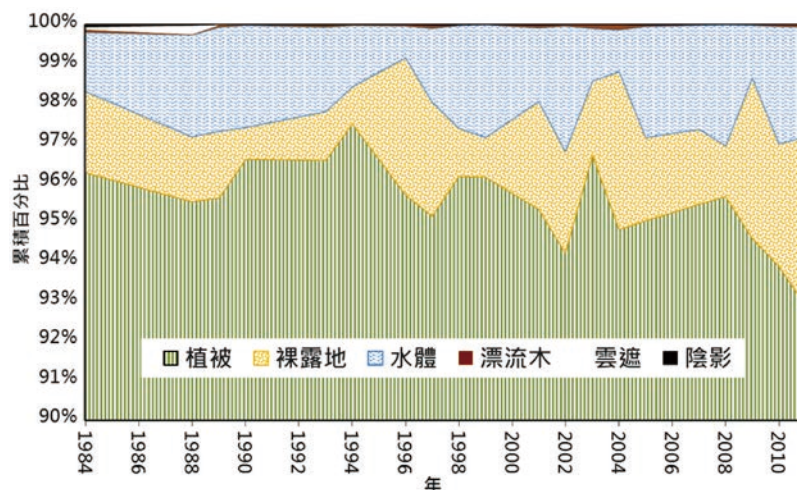


圖 7 1984 年至 2011 年曾文水庫集水區土地覆蓋佔研究區域之累積百分比時序

對海洋觀測的衛星；Sentinel-4, -5 則供大氣相關之觀測使用。歐洲太空總署自 2014 年發射 Sentinel-1A 之後，陸續發射了 Sentinel-1B、Sentinel-2、Sentinel-3A、-3B、Sentinel-5P，積極布署地球資源衛星，未來將成為 Landsat 系列衛星的最大競爭者，美國的大地衛星傳奇還能否再延續？

參考文獻

1. J.-F. Pekel, A. Cottam, N. Gorelick & A. S. Belward, 2016, High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes, *Nature*, Vol. 540, pp. 418-422. DOI: 10.1038/nature20584.
2. John Loomis, Steve Koontz, Holly Miller, Leslie Richardson, 2015, Valuing Geospatial Information: Using the Contingent Valuation Method to Estimate the Economic Benefits of Landsat Satellite Imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, pp. 647-656. DOI: dx.doi.org/10.14358/PERS.81.8.647.
3. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-benefits-u-s-economy-by-1-8-billion-per-year/>
4. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-9/>
5. Michael A. Wulder, Joanne C. White, Thomas R. Loveland, Curtis E. Woodcock, Alan S. Belward, Warren B. Cohen, Eugene A. Fosnight, Jerad Shaw, Jeffrey G. Masek, David P. Roy, 2016, The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 185, pp. 271-283. DOI:10.1016/j.rse.2015.11.032.
6. US government considers charging for popular Earth-observing data, <https://www.nature.com/articles/d41586-018-04874-y>