

# 利用 Google Earth Engine 探討災害時的合成孔徑雷達(SAR)散射變化案例

莊承穎<sup>1</sup>、陳振宇<sup>2</sup>、陳國威<sup>3</sup>

## 摘要

合成孔徑雷達 (Synthetic aperture radar, SAR) 是一種高解析度的雷達成像技術，因其能夠在任何天氣條件下進行偵測，而廣泛被應用於災害觀測。日本國土交通省為提高災害期間利用衛星影像掌握各項災害情況之能力，發布了基於 SAR 影像的土砂災害判讀指引，針對土砂災害發生後，利用 SAR 背向散射 (back scatter) 的變化判讀方法。本研究探討了日本和台灣應用 SAR 在土砂災害監測中的案例，利用 Google Earth Engine (GEE) 平台分析 Sentinel-1 雷達衛星影像，計算災前後背向散射強度的差異，並將結果視覺化。結果顯示，SAR 影像於 2023 年台灣卡努颱風和 2021 年盧碧颱風事件時，皆能有效識別災害區域。此外，亦分析了 2024 年日本能登半島地震前後的影像差異，展示了地形變化與海岸線推進情形。本研究綜整日本指引和台灣案例，整理土砂災害後 SAR 散射變化的調查要點，同時透過 GEE 平台線上分析 Sentinel-1 影像，提供災情監測的參考，使得技術普及化，提供更準確的災情監測資訊，減少災害損失，促進人身安全與社會的穩定。

**關鍵字：**合成孔徑雷達 (SAR)、ALOS-2、Sentinel-1、Goole earth engine (GEE)

## 壹、緣起

合成孔徑雷達 (Synthetic aperture radar, SAR) 透過機載或衛載微波雷達系統對地面進行成像，經過複雜的雷達數據合成後，可產生空間解析度較高的雷達影像。由於 SAR 為主動式偵測系統，不受日夜或天候影響，因此廣泛應用於各種災害觀測。

以日本為例，鈴木等人 (2019) 於研究中利用 SAR 影像的背向散射強度變化來進行土砂災害調查。為迅速應對災害，提高災害期間能有效利用衛星圖像，掌握各項災害情況，日本國土交通省與航空航天研究開發機構 (JAXA) 於 2017 年簽署「協助提供使用人造衛星等災害相關資訊協定」。隨後，開展了「利用 ALOS-2 開發土砂災害監測技術的聯合研究」，並於 2020 年 4 月發布了基於 SAR 影像的土砂災害判讀指引「依合成孔徑雷達影像判讀土砂災害指引」(鈴木等人, 2021)。該判讀指引是針對土砂災害發生後，使 SAR 產生背向散射 (back scatter) 變化的案例，說明判讀土砂發生災害情況的方法，減少因不同判讀者出現差異的判讀結果，發揮技術普遍化的效果。

---

<sup>1</sup> 農村發展及水土保持署減災監測組資料治理科，聘用副研究員

<sup>2</sup> 農村發展及水土保持署減災監測組，組長

<sup>3</sup> 農村發展及水土保持署減災監測組資料治理科，科長

近年來，有多項相關研究以台灣作為研究邊坡穩定性的案例。如邱永芳 (2018) 開發自動判讀系統，即時監測公路邊坡的崩塌情況並識別潛在的崩塌跡象，以確保公路工程的安全性。同樣地，Lin et al. (2022) 進行了多時期 SAR 影像的性能研究，著重於影像處理方法和特徵提取技術，提高山崩檢測的準確性和可靠性，進而完善了 SAR 影像對地表變化監測的應用。綜上而言，SAR 對於山崩或土砂災害監測的方法和觀點，已日趨成熟，也為土砂災害應變時提供重要參考資訊。

## 貳、 課題

在瞭解 SAR 的散射變化時，常因災害的複雜性形成無法預期的背向散射情形，使正確判讀並不容易。在災害剛發生時，常需要簡單的判讀原則，才能迅速有效運用 SAR 散射差異的分析結果。此外，受限於 SAR 對於入門者的使用門檻，本研究應用 Google Earth Engine (GEE) 平台以分析災害時的背向散射變化，直接於線上即可進行操作及分析，排除應用衛星資料時的門檻限制。

## 參、 研究方法

因 SAR 發出的雷達波在射向地面、森林或建造物等地上物後，雷達波會朝各方向進行散射。其中，唯有朝雷達波照射方向產生的散射，才會形成衛星可觀測的反射波。因其相對於微波的照射方向，是朝向後方進行散射，故這種反射波被稱為「背向散射 (backscatter)」。

為使背向散射容易應用，多數研究透過將背向散射強度分配成色階，再以強度越強越明亮、強度越弱越昏暗的方式建立視覺化之後，以產製「SAR 強度影像」(圖 1)。其中，形狀不均進而使入射光朝各方向發生散射的形狀，則為容易產生強烈背向散射的區域 (鈴木等人, 2021)。

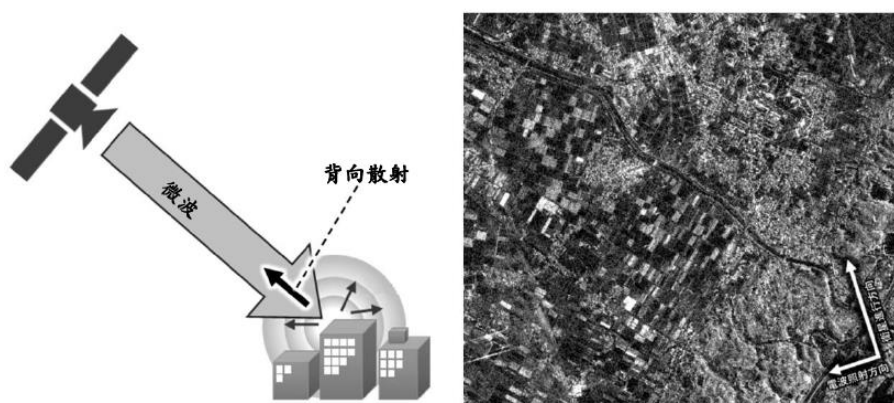


圖 1、SAR 的背向散射強度影像 (鈴木等人, 2021)

災後散射變化可大致分為增加和減少兩個部分 (鈴木等人, 2021)：

一、相較於災害前，災害後的背向散射強度上升：

(一) 新生散射面：於背向散射弱的平滑散射面或森林，受到土砂災害而提高散射面

的粗糙度，在災害後顯現增強背向散射的強烈散射。

(二) 產生二次散射：因災害而出現高低差，出現容易導致二次散射之地形，產生增強背向散射的二次散射。

二、相較於災害前，災害後的背向散射強度下降：

(一) 散射面消失：因災害而提高散射面平滑度時的散射變化(如堰塞湖)。

(二) 體散射消失：因災害而失去體散射鮮明的散射體，出現平滑地表時。

(三) 二次散射消失：因災害高低差消失，而失去二次散射時即發生散射變化。

本研究將利用 GEE 平台雲端 Sentinel-1 雷達衛星影像資料，探討 SAR 的背向散射。而 GEE 上的 Sentinel-1 資料屬即用型資料 (analysis ready data, ARD)，已完整收錄 Sentinel-1 雷達衛星 5.405 GHz 雙極化 (H 及 V) C 波段地面範圍偵測 (Ground Range Detected, GRD) 資料，並係已完成處理熱雜訊消除 (Thermal noise removal)、輻射校準 (Radiometric calibration) 及地形校正 (Terrain correction) 後的產品，且於每次衛星資料公開後兩天內即可直接在平台上分析應用。如在 SAR 影像的 GEE 應用上，Handwerger et al. (2021) 使用 GEE 中的 SAR 背向散射差異來檢測山崩，提出基於背向散射強度變化的方法，準確監測山崩事件，建立快速應變和預防山崩災害的工具。

因此，本研究將挑選災害前後兩期 Sentinel-1 影像，計算其背向散射強度差異，再將差異結果根據差異由正 10 dB 到負 10 dB 分別賦予綠色至紅色的視覺化後，產製兩期 Sentinel-1 影像散射強度差異圖。本研究將以近年災害做為案例，分析台灣 2023 年卡努颱風、2021 年盧碧颱風以及並日本 2024 年能登半島地震的散射變化情形。最後，結合日本判讀指引所提及的技術說明和散射變化解釋表，對強度差異圖進行判讀，分析散射強度差異結果並給予評估，以比較實際災害情形。

#### 肆、研究成果

臺灣在 2023 年颱風卡努事件中，災害大多集中於南投縣仁愛鄉，雖可藉由影像差異圖大致判斷災點，但仍因山區地形及植被，限制了 C-band 的 Sentinel-1 的散射情形，以致於難以準確判釋災害發生區位 (圖 2)。反之，霧社水庫在該事件中因漂流木進入水庫覆蓋水面，使災後散射強度顯著增加，在影像中成為強度明顯上升的區域 (圖 3)。

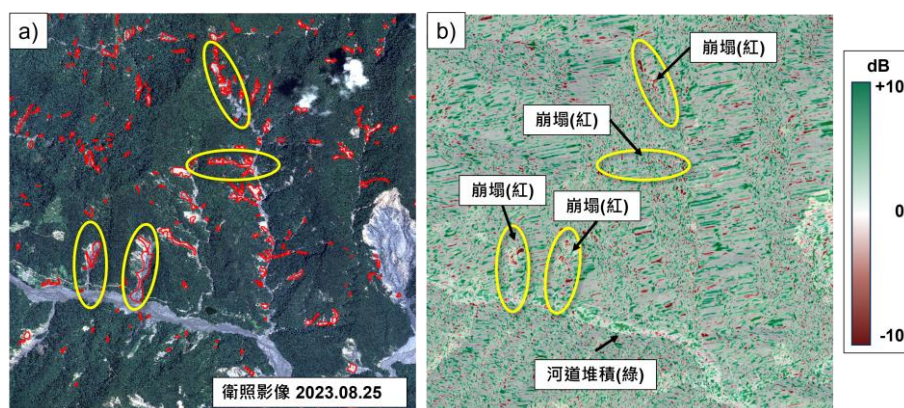


圖 2、卡努颱風事件應用案例一。a) 2023/08/25 崩塌判釋結果 (BigGIS), b) 兩期

Sentinel-1 影像散射強度差異圖 [(災前) 2023/07/07 升軌, (災後) 2023/08/24 升軌]

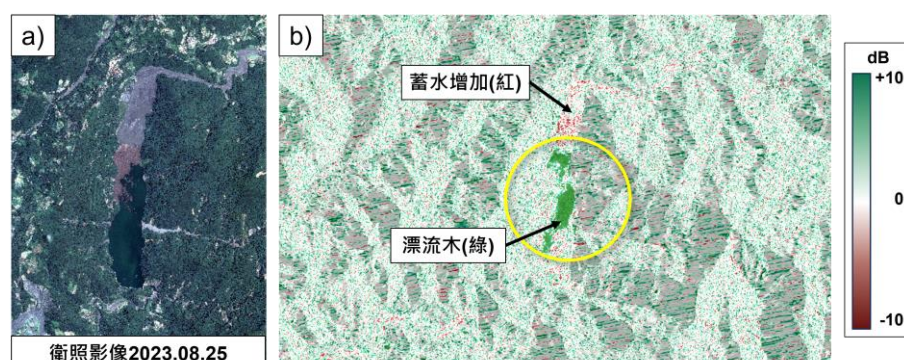


圖 3、卡努颱風事件應用案例二。a) 2023/08/25 霧社水庫漂流木堆積情形 (BigGIS), b) 兩期 Sentinel-1 影像散射強度差異圖 [(災前) 2023/07/07 升軌, (災後) 2023/08/24 升軌]

本研究亦針對 2021 年 8 月盧碧颱風事件進行判釋，高雄玉穗溪上游不安定土砂出現的大規模崩塌區域，以及隨河道沖出大量土砂形成土石流，將河道出口之台 20 線明霸克露橋沖毀，於荖濃溪交匯處形成體積約 202 萬方之土石流沖積扇。藉由兩期散射差異結果顯示，上下游兩處皆在強度差異圖上清楚看到散射變化情形 (圖 4)。且於差異圖上河道兩側出現綠色區塊，反映河道兩側多處較小規模的崩塌，使散射強度上升。

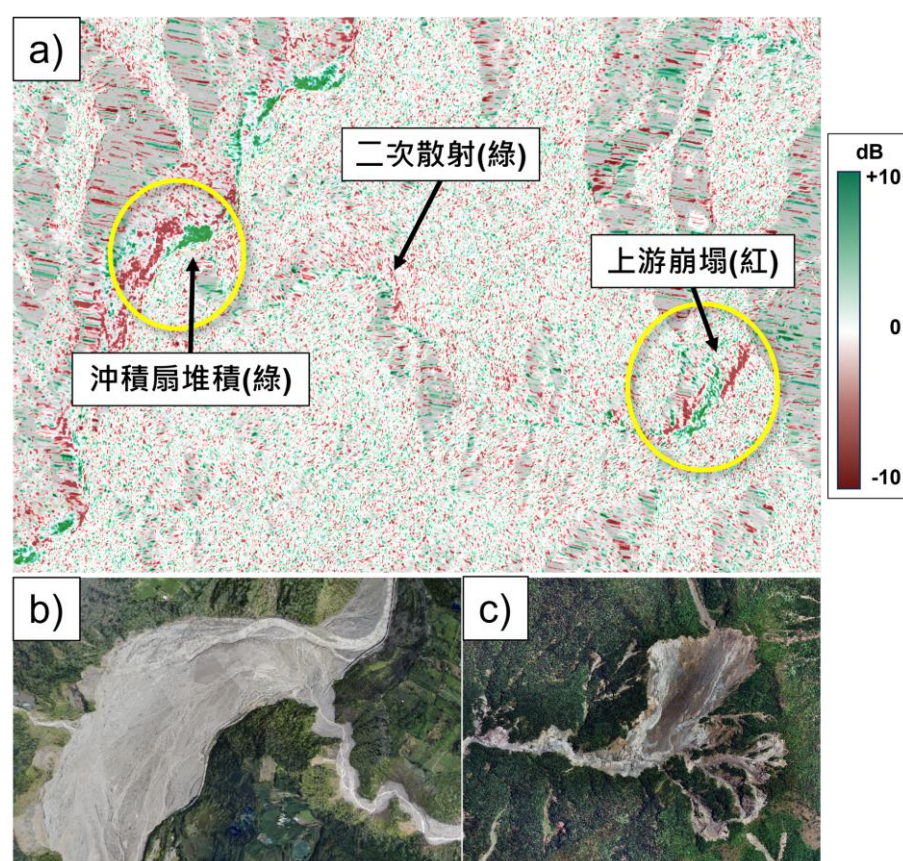


圖 4、盧碧颱風事件應用案例。a) 兩期 Sentinel-1 影像散射強度差異圖 [(災前) 2023/07/07 升軌, (災後) 2023/08/24 升軌], b) 2021/08/11 出流口沖積扇情形 (BigGIS), c) 2022/06/22 上游不安定土砂新生崩塌情形 (Pleiades)(BigGIS)

最後，本研究透過分析 2024 日本能登半島地震之前後期影像後，明顯看出能登半島北側沿岸及西側黑島漁港地區地形受地震影響而抬升，出現海岸線向前推進情形（圖 5）。日本國土地理院（2024）分析結果也顯示，輪島市一帶出現約 4 m 的地表隆起，於該區皆月灣海岸線推進約 200 m，抬升位置與本研究背向上升處大致相符（圖 6a, 6c）。此外，透過兩期影像強度的差異，亦顯示了因大量土砂入海使原應無散射的海面出現背向散射，以致在差異圖上可清楚看出受影響區域（圖 6b, 6d）。

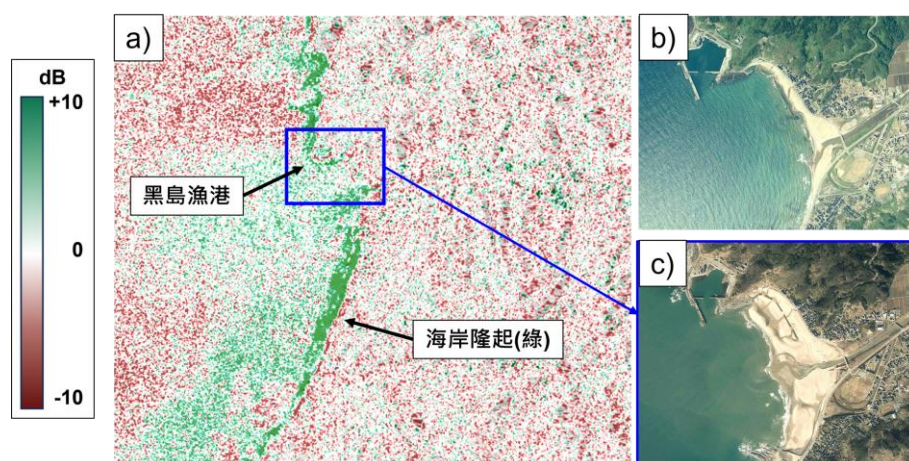


圖 5、2024 能登半島地震案例一。a) 兩期 Sentinel-1 影像散射強度差異圖 [(災前) 2023/07/03 升軌, (災後) 2024/02/04 升軌], b), c) 黑島漁港災前後航照影像 (國土地理院)

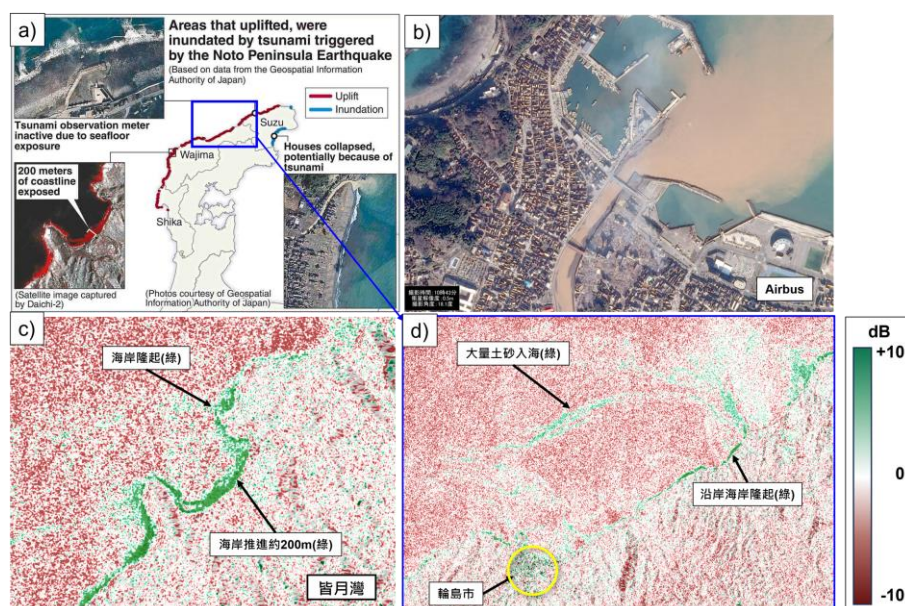


圖 6、2024 能登半島地震案例二。a) 國土地理院海岸上升分析結果, b) 土砂入海情形 (Airbus), c) 及 d) 皆月灣及能登半島北側海岸兩期 Sentinel-1 影像散射強度差異圖 [(災前) 2023/07/03 升軌, (災後) 2024/02/04 升軌]

## 伍、結論與未來展望

土砂災害對基礎設施和保全對象造成重大影響，本研究綜整了日本指引和台日案例，應用土砂災害後 SAR 散射變化的調查要點。本研究也透過 GEE 平台分析 Sentinel-1 影像，降低衛星影像在取得或使用上的門檻，並展示災情監測參考的能力。希冀透過 SAR 技術在災害時的應用的普及化，為災害管理單位提供更準確、及時的資訊，將助於加強對災害情況的了解，減少災害帶來的損失，促進人身安全與社會的穩定。

## 參考文獻

1. 農業部農村發展及水土保持署. (2024). 巨量空間資訊系統 (BigGIS).
2. 鈴木大和, 松田昌之, 野村康裕, & 中谷洋明. (2019). SAR 画像の後方散乱強度変化による土砂災害調査手法の適用. 土木技術資料= Civil engineering journal: 土木技術の総合情報誌, 61(12), 16-19.
3. 鈴木大和、松田昌之、中谷洋明. (2021). 災害時の合成孔径雷達 (SAR) 散射變化案例解説集, 國土技術政策總合研究所資料, NO. 1159.
4. 國土地理院. (2024). 「だいち 2 号」観測データの解析による令和 6 年能登半島地震に伴う地殻変動 (2024 年 1 月 19 日更新)
5. 邱永芳. (2018). 公路邊坡崩塌近景攝影測量自動判讀系統開發應用研究 (Vol. 1010701481). 中華民國政府出版品.
6. Handwerger, A. L., Jones, S. Y., Amatya, P., Kerner, H. R., Kirschbaum, D. B., & Huang, M. H. (2021). Strategies for landslide detection using open-access synthetic aperture radar backscatter change in Google Earth Engine. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2021, 1-35.
7. Lin, Y. N., Chen, Y. C., Kuo, Y. T., & Chao, W. A. (2022). Performance study of landslide detection using multi-temporal SAR images. *Remote Sensing*, 14(10), 2444.