無國界守護：太空中的聯合國

黃可欣 [1]、周士傑 [2]

國家太空中心 [1] 助理技術師、[2] 正工程師兼衛星影像組副組長

前言

自 20 世紀末以來，亞太地區遭受大規模天然災害的頻率不斷增加。根據亞洲減災中心（Asian Disaster Reduction Center, ADRC）的統計，亞太地區災害發生次數約占全球的 37%。更嚴重的是，亞太地區多數地質敏感區同時是人口密集區，導致該地區的災害受害人數高達全球的 89%。此外，亞太地區是全球經濟成長的重要引擎，因此災害帶來的經濟損失約占全球總損失的 44%。面對這樣嚴峻的挑戰，2004 年在亞太地區太空論壇上（Asia-Pacific Regional Space Agency Forum, APRSAF），一個名為「守望亞洲」（Sentinel Asia）的計畫被提出。這個計畫希望利用當時正在崛起的太空科技與迅速發展的資訊通訊技術，來提升亞太地區防災和救災的能力。透過這些先進技術，能夠更快速地偵測災害發生的位置和規模，並及時提供資訊支援，幫助國家和人民做好準備、減少災害造成的損失。

認識守望亞洲

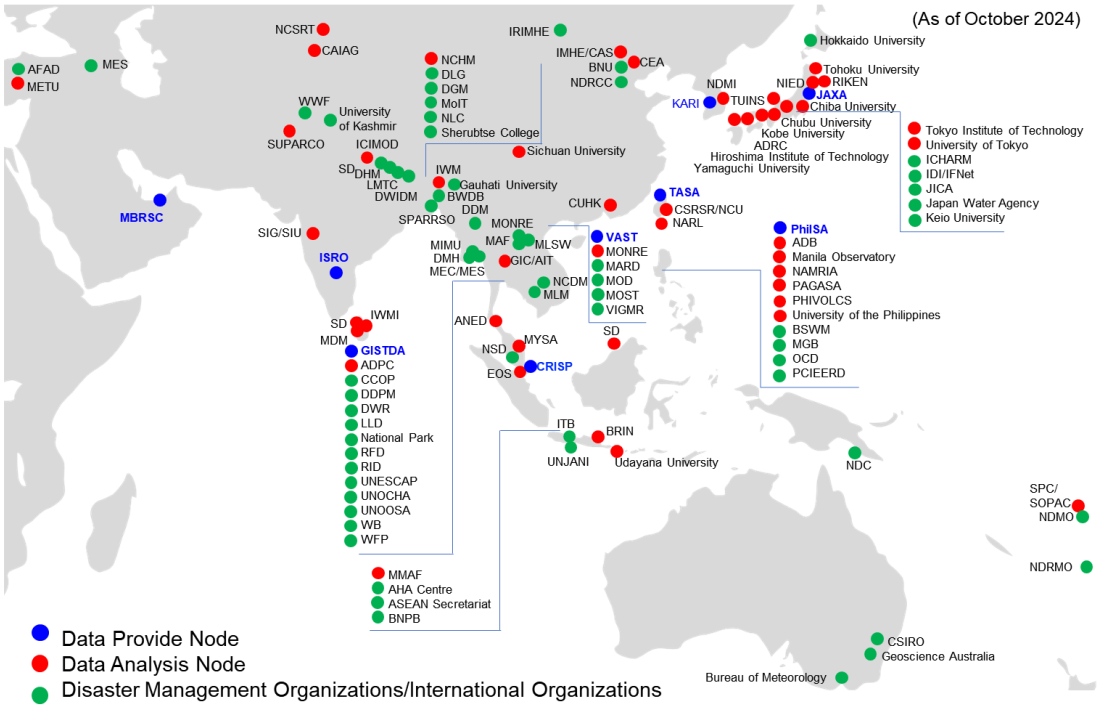
守望亞洲/Sentinel Asia 是一個利用衛星科技來協助亞洲防災救災的合作計畫，成立於 2006 年。當年 2 月在越南河內舉行第一次合作會議，正式啟動這項重要的國際合作機制。守望亞洲防救災機制建立程序的演進是採用循序漸進的方式，集結了來自全球多個國家的空間科技組織，串接各個衛星操作中心、資料分析單位與亞太各區域的災防單位，共同利用衛星資源監測和支援亞洲地區災害救援工作。這些衛星影像在災害發生前、中、後都非常重要。它們能幫助救援人員快速了解災區的現況和變化，掌握災害規模和受災範圍，進而協助制定救援計畫和復原策略。透過守望亞洲的衛星資源，亞洲地區的防災與救災工作變得更加有效率，讓災害管理更具科學依據與準確性。在這個系統中，亞洲減災中心（ADRC）負責作為緊急事件的通報窗口，協調來自不同國家和組織的資訊交流。Sentinel Asia 建立了一套穩固的資料傳輸系統，並透過多次災害演練，幫助成員國熟悉如何跨越國界與部門，順利分享災害通報、災情資訊以及相關資料。

截至 2024 年 10 月，Sentinel Asia 這個國際合作專案已經吸引了 127 個會員加入，其中包含來自 30 個不同國家的 108 個組織，以及 19 個國際組織（圖 1）。Sentinel Asia 依靠多個衛星影像提供者的資源，其中包括日本宇宙航空研究開發機構（Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA）、印度太空研究組織（Indian

Space Research Organization，ISRO）、以及臺灣國家太空中心（Taiwan Space Agency, TASA）等。這些國家的衛星（圖 2）所提供的衛星影像在災害發生後，能夠迅速觀測受災地區，提供及時且準確的影像資料。透過這些資料，救災單位可以更有效地了解災情，並做出及時的應對措施，從而提升救援效率與災害損失的降低 Sentinel Asia 的運作模式，展現了國際合作和科技結合的重要性，透過衛星技術協助全球面臨各種自然災害的地區，守護人們的生命與財產安全。

圖 1

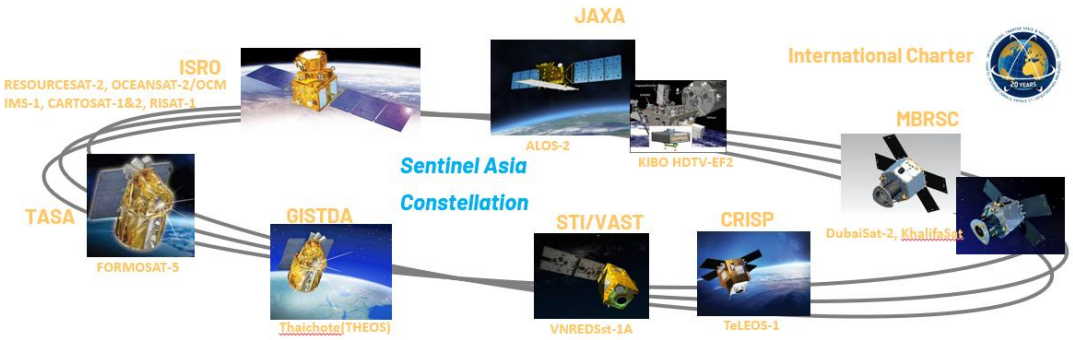
守望亞洲會員國分佈



註：圖片來源為守望亞洲 2024JPTM。

圖 2

守望亞洲衛星星系



細說太空中心

一、認識國家太空中心

國家太空中心（Taiwan Space Agency, TASA）成立於 1991 年，核心任務之一為制定和執行臺灣太空科技計畫的主要單位。2023 年從國家實驗研究院獨立設置為行政法人機關，英文名稱由 National Space Organization （NSPO） 改為 Taiwan Space Agency （TASA）。做為臺灣太空科技的先驅至今已愈 30 年，除了致力太空科技研發，並將技術轉移到其他領域以促進加值應用，也積極促進與其他國家的合作與交流，以提升臺灣在國際太空領域的地位。

國家太空中心擁有的第一顆自主高解析度遙測衛星福爾摩沙衛星二號（福衛二號），於 2004 年 5 月 21 日成功發射升空，並於同年 6 月 4 日拍攝第一張遙測影像、下傳並處理成功，是實現臺灣太空科技重要的里程碑。

二、福爾摩沙遙測衛星

福爾摩沙遙測衛星就像太空中的超大型數位相機，持續拍攝地球表面，並將清晰的地貌照片傳回地面接收站，幫助我們了解地球的變化。福衛二號原本任務壽命原規劃為五年，但它卻堅持運作超過 12 年，直到 2016 年 8 月 19 日正式除役。福衛二號具備影像黑白解析度 2 公尺、彩色解析度 8 公尺的光學遙測衛星，每日再訪軌道特性，甚至能拍攝到南北極地區。衛星在執行任務高達 12 年締造輝煌的成績，共拍攝了超過 255 萬幅照片，面積相當於四萬個臺灣大小，是全球陸地總面積的 10 倍。福衛二號多次支援國際與國內災害事件中迅速提供即時影像，協助救災，像是 2004 年南亞海嘯、2005 年美國卡翠那颶風、2008 年南極威爾金斯冰架崩解、中國四川強震、2009 年莫拉克颱風和 2011 年日本福島強震海嘯等。

福爾摩沙衛星五號 （簡稱福衛五號） 是臺灣首顆自主研發的高解析度光學遙測衛星，肩負著接替 2016 年除役的福衛二號，繼續守護臺灣並觀察全球的重要任務。福衛五號於 2017 年 8 月 25 日成功發射升空，並在 9 月 8 日將第一張影像傳回位於新竹的地面接收站。這顆衛星提供的黑白影像解析度達 2 公尺，彩色影像更細緻到 4 公尺，能精準捕捉地表細節。具備每二日重訪同一地區的軌道能力。儘管原定任務是五年，福衛五號至今仍持續運作，不僅守護臺灣，也積極參與國際救災，發揮重要的觀測與支援功能。

臺灣首度自主打造的「衛星星系」福爾摩沙衛星八號（簡稱福衛八號），正式展開研發計畫。這個計畫承襲先前福衛五號的設計經驗，並在此基礎上提升自主研發能力，致力於打造一個輕巧、成本低且高效能的通用衛星平台。福衛八號星系由八顆光

學遙測衛星組成，其中六顆是高解析度衛星，另外兩顆則為超高解析度衛星。這些衛星將陸續發射，整個星系預計在 2031 年完成佈建。首顆衛星 FS-8A 預計在 2025 年第四季升空，未來，福衛八號能提供每日多次巡視地球的能力，並實現全球範圍的衛星影像覆蓋。

福爾摩沙遙測衛星出任務

一、角色扮演

守望亞洲是一個利用太空科技來加強亞太地區災害管理的重要計畫。這個計畫主要透過衛星影像和相關資料，幫助及時監測和回應自然災害，提升區域內的防災能力。在這個計畫中，有兩個關鍵角色：資料提供節點（data provider node，DPN）和資料分析節點（data analysis node，DAN）。國家太空中心不僅是提供衛星影像資料的角色 DPN，同時也擔任資料分析的任務 DAN。DPN 的主要工作是收集並提供衛星影像和其他相關資料。當發生災害時，DPN 負責回應緊急觀測的請求，並向合作夥伴如亞洲減災中心（ADRC）及其他參與節點分享其資料收集計畫，確保大家能共同利用最即時和準確的影像資源。而 DAN 則專注於分析由 DPN 提供的衛星影像資料，進一步製作加值產品，這些產品對於災害評估和決策非常重要。透過數據的預處理和分析，DAN 確保該資料能有效支持災害管理所需，並將最終結果發布於守望亞洲系統（Sentinel Asia System），讓各相關單位能快速掌握災情。總體而言，透過 DPN 與 DAN 的協同合作，守望亞洲專案大大提升了亞太地區對自然災害的監測和應變能力，為區域安全和人民生命財產的保護貢獻了重要力量。

二、分工合作--影像處理中心

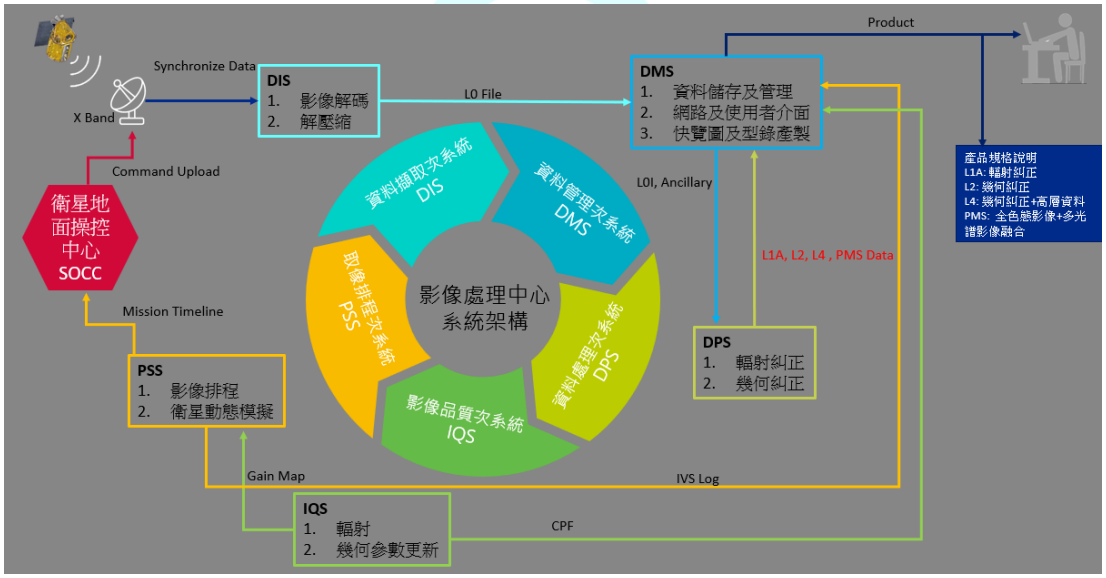
國家太空中心的衛星資料處理組在衛星影像的回傳後的處理過程中，扮演著關鍵角色。當衛星拍攝的影像資料經由地面接收站傳送回來時，這些資料都是加密的原始數據，無法直接觀看。透過衛星資料處理組影像處理中心的下列五大核心系統（圖 3），這些原始數據會被轉換成適合人眼辨識的全色態影像和多光譜影像。

1. 取像排程次系統（planning and scheduling system, PSS）--衛星就像太空中超大像機，負責規劃衛星每天的拍攝任務。透過核心引擎計算出最佳拍攝時間、角度，以及衛星的可用資源，確保拍攝目標精準達成。
2. 資料擷取次系統（data ingestion system, DIS）--衛星完成拍攝後，會將影像資料及相關參數如拍攝時間、衛星姿態等進行壓縮與加密，暫存於衛星上的固態記錄器中。當衛星通過地面接收站時，這些資料會被傳回地面，並利用解碼金鑰還原成原始資料格式，製作成 L0 檔案供後續使用。

3. 資料管理次系統（data management system, DMS）--對回傳的原始資料進行歸檔、編目與檢索，並提供操作介面來方便使用者查詢及產品交付。
4. 資料處理次系統（data processing system, DPS）--根據需求進行多種影像處理，如幾何校正、輻射校正和地理投影等，最終輸出不同等級的產品，包括 L1A、L2 與 L4 產品包裝，提升影像的應用價值。
5. 影像品質次系統（image quality system, IQS）--為確保衛星影像品質穩定，系統定期對衛星進行健康檢查。國家太空中心在澎湖設立福爾摩沙衛星校正場，利用特殊設計的黑白田字型圖案，透過衛星拍攝這些圖案的影像資料，計算調制傳遞函數（modulation transfer function, MTF），判斷影像清晰度與銳利度，進而監控衛星的健康狀態，確保遙測影像的最佳品質。

圖 3

影像處理中心的五大核心系統



近年救災防災關鍵貢獻

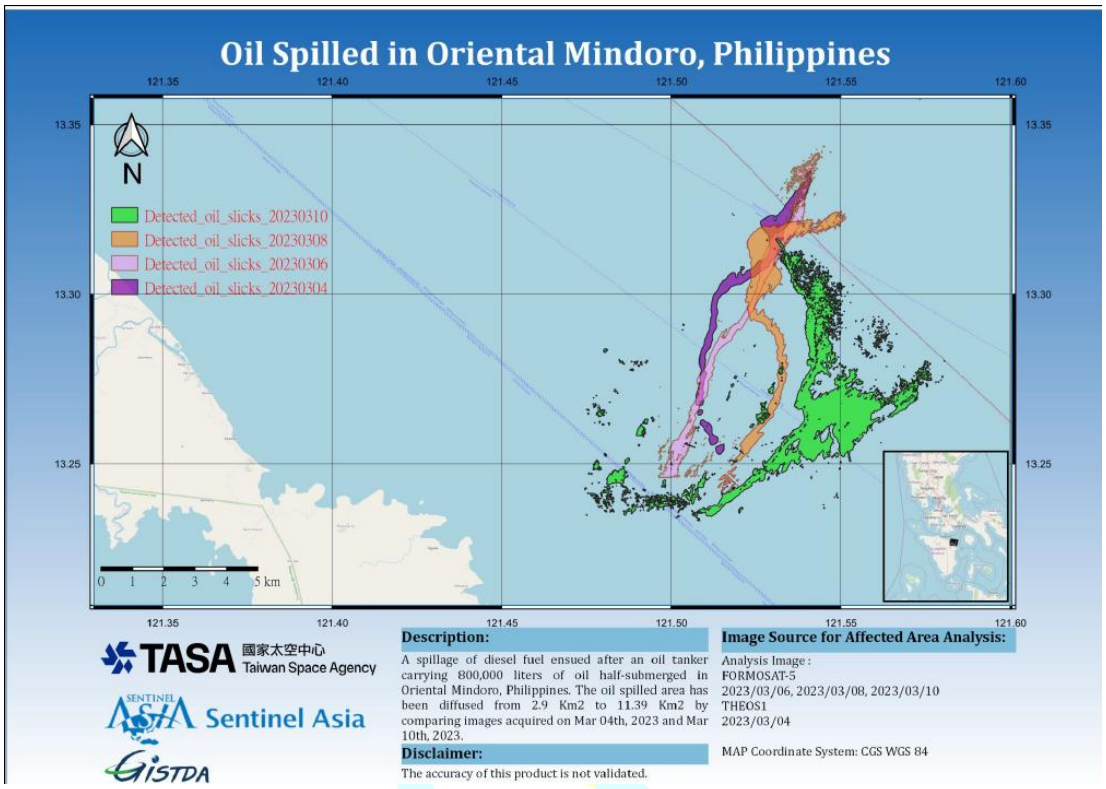
一、菲律賓海域漏油事件

2023 年菲律賓東民都洛省附近海域發生油輪漏油事件，此事件利用了臺灣福衛五號和泰國 THEOS-1 衛星，取得了 2023 年 3 月 4 日至 3 月 10 日多次連續的衛星影像。研究團隊使用 ISODATA 的非監督式分類技術，根據影像中不同光譜信號的特徵，自動將海面上的油污範圍分辨出來。由於油污的厚度不同，加上太陽光照射角度會影響影像中反射光的強弱，結合人工判讀進一步確認油污的位置和範圍。結果顯示，油污面積從 3 月 4 日約 2.7 平方公里，逐漸擴大到 3 月 10 日達 11.39 平方公里。隨著時間推移，油層變得越來越薄，黏滯度下降，這讓油污擴散得更快，污染範圍也隨之擴

大。這項分析結果不僅展現了衛星監測在環境保護上的重要性，也提供了科學依據以協助後續清理和保育行動（圖 4）。

圖 4

福衛五號/ THEOS-1 光學衛星影像菲律賓海域漏油事件分析

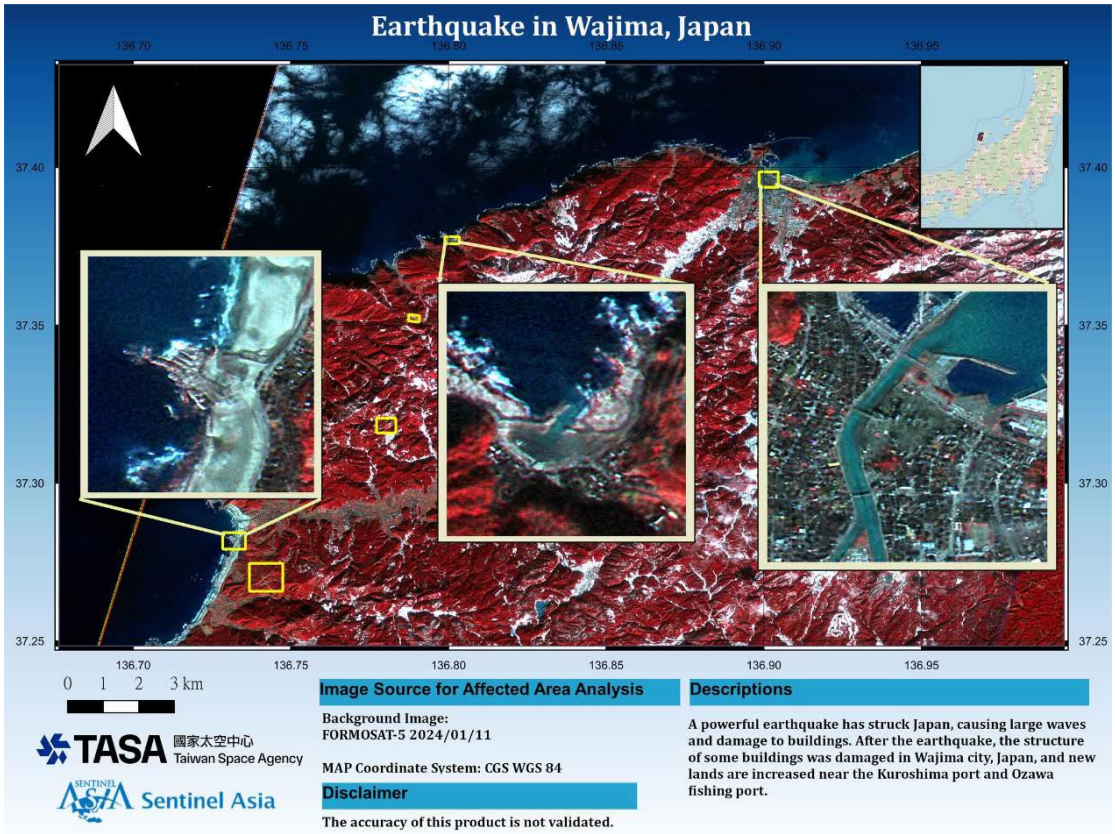


二、日本能登半島地震

2024 年 1 月 1 日，日本能登半島發生規模 7.6 地震，海嘯造成嚴重破壞，至少 241 人罹難，超過 6 萬 6 千戶房屋受損。為了更深入了解災情，日本宇宙航空研究開發機構 （JAXA） 利用其 ALOS-2 合成孔徑雷達衛星，採集了災後的衛星影像。透過合成孔徑雷達技術，這些影像能有效穿透雲層，精確分析地表的變化，幫助使用者繪製出災害損害的分布圖，提供災區損毀情況的即時參考。同時，臺灣太空中心針對災區也展開了緊急觀測行動，動用福衛五號光學衛星在 1 月 5 日取得了災後的首張低雲天氣影像。結合前期由歐洲哨兵二號衛星（Sentinel-2） 在 2023 年 12 月 6 日拍攝的影像，利用這些多時期衛星資料，清楚識別出火災燒毀的區域及海嘯造成的淹水範圍（圖 5）。這些分析成果不僅用視覺化方式呈現，也在第一時間提供給守望亞洲平台，助力救災和後續復建工作。

圖 5

福衛五號光學衛星影像日本能登半島地震分析

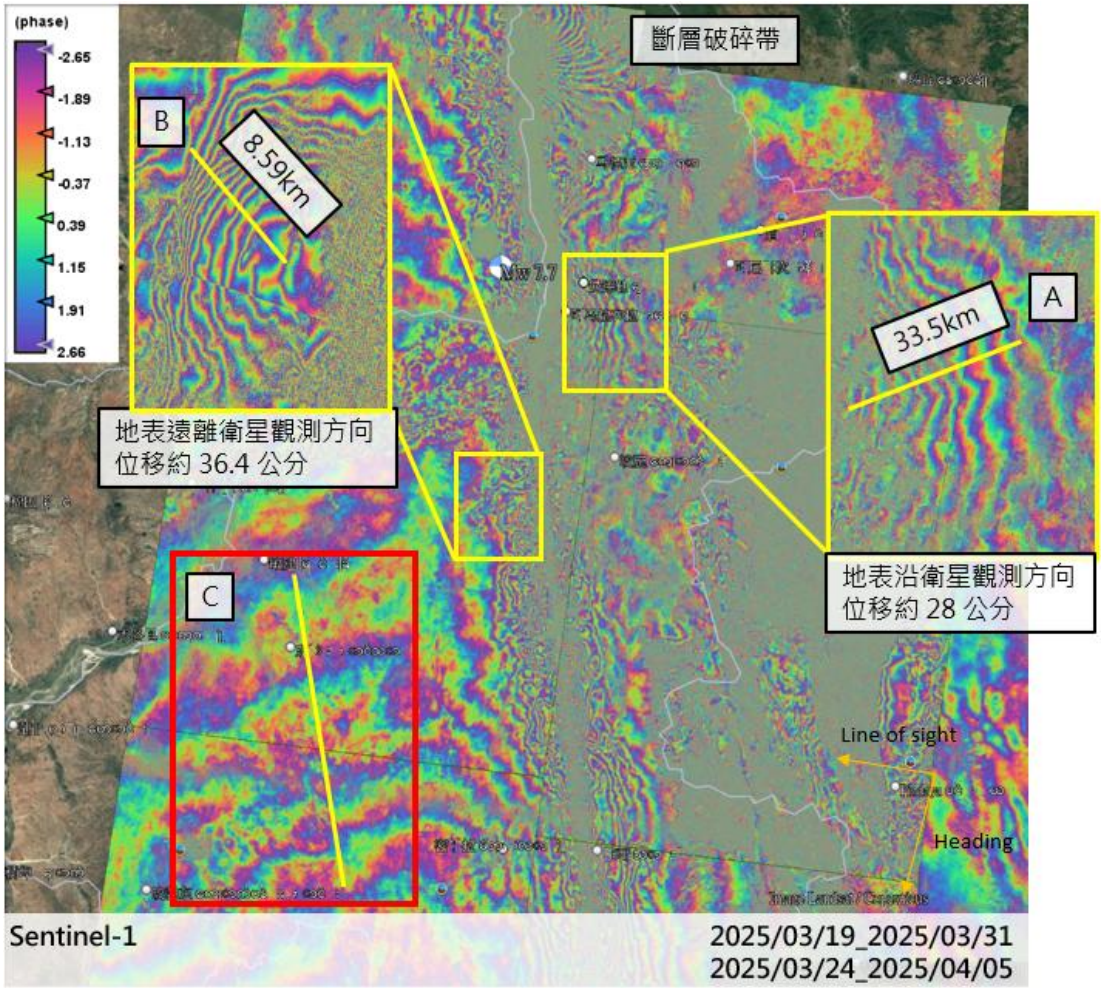


三、緬甸地震

2025 年緬甸地震發生於 3 月 28 日，震央位於緬甸實皆省。美國地質調查局測定其地震規模為 MW 7.7，這次地震造成了超過 3,800 人死亡，5,100 人受傷，對當地造成嚴重破壞。地震發生後，緬甸政府立即向守望亞洲平台提出緊急觀測申請。福衛五號衛星隨即對震央附近包括曼德勒和奈比多等重要城鎮進行影像拍攝，並利用這些影像以視覺化方式分析地震後建築物的變化，幫助掌握災情。同時，也使用歐洲哨兵一號衛星 （Sentinel-1） 提供的合成孔徑雷達影像進行干涉合成雷達（DInSAR）分析。哨兵一號於 3 月 19 日和 31 日拍攝了地震前的影像，同時取得 3 月 24 日和 4 月 5 日了地震後的影像。這顆雷達衛星採用 C 波段，半波長約為 2.8 公分，能夠偵測地表細微的移動。分析結果顯示，地震造成的斷層帶兩側出現明顯的差分干涉條紋，這些條紋代表地表因地震而產生的位移。斷層右側的 A 線段長度約 33.5 公里，出現了 10 條干涉條紋，代表這段區域沿衛星觀測方向地表位移約 28 公分；而 B 線段長約 8.59 公里，出現了約 13 條干涉條紋，顯示地表位移約 36.4 公分（圖 6）。

圖 6

哨兵一號緬甸地震分析



未來挑戰

全球氣溫持續上升，2024 年更創下了有史以來最熱的紀錄。氣候暖化不僅使地球變得更熱，還導致海平面逐漸上升，並且暴雨發生的頻率和強度也在增加，這些變化讓沿海地區面臨更高的洪水風險。面對這些挑戰，衛星技術發揮了非常關鍵的作用。衛星可以從太空中持續監測地球上的氣象變化和水災狀況，提供及時且準確的災害預警，讓政府和民眾能夠提前做好防範和應對。亞洲地區也積極透過國際合作，整合多個國家的衛星觀測資源，建立更完整的災害監控系統。例如，「守望亞洲」計畫便是集合多國衛星資料來提升整體預警能力，讓災害資訊更快速且精確地傳達給受影響地區。隨著衛星技術持續進步，衛星科技不僅是探索太空的工具，更成為我們應對氣候變遷和自然災害的重要幫手。