

跨域整合衛星科技的先鋒： 黃金維改寫地球監測版圖

文字／鸞九辰 攝影／汪忠信

在阿拉斯加海岸上空，一場因地球暖化引發的奇妙變化正悄然展開：當代冰川加速融化，長期被冰蓋壓迫的地殼開始回彈，如同釋放的彈簧般出現「地殼回彈」（Glacial Isostatic Adjustment, GIA）現象，使地表抬升速度超過海平面上升，導致港口水深逐年減少、漁船出海日益困難，甚至可能引發火山爆發等地質事件。

然而，記錄這場地球變遷的科學家，無需親臨融化的冰川現場或北極海域航行。臺灣第二十八屆國家講座主持人、陽明交通大學土木工程系終身講座教授黃金維，在實驗室中專注分析軌道衛星傳回的數據，從感測重力變化的衛星到雷達干涉測量技術，揭開許多不為人「見」的地球祕密。

解密！衛星如何「看見」地球重力變化？

多數人熟悉衛星的通訊或導航功能，但黃金維卻利用衛星數據反推地表重力變化，他強調：「重力測量的真正價值在於監測時間序列的變化。」

以喜馬拉雅山冰川為例，當冰層厚度從一百公尺減至九十九公尺，區域質量雖會減少，但變化極微，必須透過長期監測才能得出可靠結論；譬如國際知名的GRACE重力衛星任務（Gravity Recovery and Climate Experiment）正是透過累積二十二年的數據，才確認冰川大量融解的事實。

他指出，與傳統的地面重力測量相比，衛星測量適用於數百公里的大範圍區域，例如整個冰川區域的重力變化；地面重力測量則利用高精度重力儀直接測量局部地表變化，精度極高，適合工程應用。兩者各有優勢，可相輔相成。

這些經驗源自黃金維長期參與地面重力量測工作，曾在國家一等水準點重力量測計畫中擔任主要指導角色，建立全臺最高精度的一等重力基準網，為臺灣的大地測量、地球科學研究、工程建設及防災規劃奠定重要的科學基礎。

PSIINSAR技術，破解極地地殼回彈謎團

提及冰川融解，黃金維近期於國際頂級期刊發表的代表作

黃金維

工程及應用科學領域
第二十八屆國家講座主持人獎

陽明交通大學土木工程系終身講座教授

之一，首度成功運用PSInSAR技術（持久散射體干涉合成孔径雷達），觀察加拿大南哈德遜灣區因兩萬年前冰河時期結束、冰川融化後，至今每年仍持續約兩公分的地殼回彈過程，同時補足該區因地面全球衛星導航系統（GNSS）站點稀少的數據缺口。

PSInSAR技術如同「太空雷達掃描儀」，亦是臺灣太空中心重要的發展技術。PS是永久散射體（Persistent Scatterers），如岩石或建築物反射雷達訊號較森林穩定，透過這些「穩定點」進行測量，結果能更為精確；In是干涉測量，指衛星多次拍攝同一地點比對差異，判斷地面升降變化；SAR則是合成孔径雷達（Synthetic Aperture Radar）技術，透過發射微波並接收地表反射訊號，比較不同時間的雷達影像，能檢測毫米級的垂直位移。

「SAR衛星每十二天觀測一次。當地表高度增加時，衛星與地表的距離會縮短；反之，距離則會增加。透過分析相對距離的變化，我們能精確判斷地表是抬升還是下降。」黃金維表示，臺灣已廣泛運用PSInSAR技術監測因地下水抽取引發的地層下陷、地震造成的地表形變，以及橋梁等基礎設施的安全狀況。

然而，地殼回彈速度極緩且變化細微，加上極地環境複雜且干擾因素多，向來被視為監測高挑戰區。但黃金維透過多

重校正步驟，成功將過去多應用於小範圍且相對穩定的PSInSAR技術，擴展至大範圍且環境複雜的極地監測，取得了突破性的進展。

新世代測高衛星SWOT，解決沿岸測量難題

二〇二二年底，美國NASA與法國太空總署聯合發射SWOT衛星（Surface Water and Ocean Topography，表面水與海洋地形），這顆新一代測高衛星成為黃金維的新研究對象，他並將SWOT衛星如何促成「太空沿岸測繪轉型」發表於國際頂級期刊《Science》。

黃金維指出，SWOT衛星採用「掃描式雷達」技術，有別於傳統測高衛星的「點狀」觀測方式，能以一百二十公里寬幅進行掃描，提供海洋與內陸水體的詳細地形圖，特別是傳統技術較少觀測的近岸水面運動監測。

他進一步說明，SWOT衛星應用主題多元。例如，在內陸水體監測方面，可觀測濁水溪水水位變化，間接評估地下水補充情況，對水資源管理和防洪規劃具重要價值；在海岸測繪方面，則解決一個長期困擾測量工作的難題：無潮汐效應沿岸平均海面之深度基準。

「以往船隻測量海底深度時，常受潮位變動影響，導致同一地點在不同時間的測量結果可能相差數米。SWOT提供

精確水面高程數據，讓我們能建立更可靠的深度基準，有助於重新定義海岸線界限和國土範圍，對離岸風電場建設也至關重要，它甚至能反映海底地形結構，我們正開發透過海面高度反推海床深度的方法。」黃金維補充說明。

此外，黃金維亦積極透過SWOT衛星進行多項國際合作，包括協助菲律賓、印尼等東南亞國家進行沿岸測繪；與中國大陸學者共同探討SWOT衛星在西藏湖泊和冰川監測的運用。

從計算到整合，黃金維脫穎而出的三天研究特點

黃金維之所以備受國際學術界矚目，除了開創性的研究主題，還有其開發的高效精準計算轉換流程。例如，現今華人學者廣泛採用的Inverse Vening Meinesz (IVM)和Deflection-Geoid程式，正是由黃金維所提出；因能將測高衛星觀測的海面起伏數據，快速地轉換為精準的海洋重力場資訊，成為海洋重力研究的重要基礎。

但黃金維認為，自己的研究強項，在於整合全球導航衛星系統（GNSS）、衛星雷達干涉測量（InSAR）、重力測量等技術與水文地質資料。他說：「整合這些多元地球資訊，能從地表變形追溯到地下水位變化，實現從『因』到『果』的完整分析，更有效地解決臺灣地層下陷及水資源等

問題。」

例如，先以 InSAR 和 GNSS 觀測地層下陷，結合重力測量判斷地下水抽取情況，再透過水文資料解釋地質條件，全面理解地層下陷機制。這種綜合方法改變過去單一領域研究的局限性，為政府制定水資源管理政策和防災措施提供科學依據。

期待，黃金維引領臺灣太空科技未來十年

「臺灣的測量與衛星遙感技術，特別是在實際應用方面，已具備國際領先地位。」黃金維指出，臺灣地層下陷問題嚴重且複雜，他所帶領的團隊現正透過累積豐富的監測經驗，與印尼、菲律賓等同樣面臨地層下陷挑戰的東南亞國家展開合作，尤其還利用 InSAR 進行地層下陷監測而發表研究論文，可謂國內最豐碩的團隊之一。

正因黃金維熟諳各類衛星，能完美融合不同衛星數據並跨領域整合應用，使其獲邀擔任臺灣太空中心白皮書衛星遙感組召集人，協力規劃未來十年的太空計畫，不僅有助於防災、國土監測、環境評估等多元應用，還可透過國際合作，提升臺灣在國際學術舞臺上的影響力。

