

知識天地

花東縱谷上之池上斷層：世界上位移速率最快的活斷層之一

李建成（地球科學研究所副研究員）

板塊交界中的交界

每當台灣有地震發生時，氣象局會提醒我們，台灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊交接處，地震是板塊碰撞能量釋放的結果。住在台灣的我們，對於板塊碰撞這個名詞並不陌生。從地球科學家的角度來看，整個台灣島，甚至包括東部海域地區，都可視為這兩個板塊的交界帶。利用現代科技 GPS，精密測量分析顯示，蘭嶼和澎湖，這兩個位於台灣東西兩側的島嶼，他們的相對距離每年有明顯而穩定的縮短。相對於澎湖，蘭嶼每年向西北方向前進約 8 公分。每年 8 公分的板塊碰撞（地球科學家喜歡說「板塊聚合」），也就是台灣高聳險峻中央山脈的成因，也是台灣地震頻繁的原因。而在台灣板塊交界帶中，花東縱谷可說是交界中的交界。以岩石的成分來說，花東縱谷西側的中央山脈屬於歐亞大陸，而東側的海岸山脈則屬於菲律賓海板塊。GPS 地殼變形的測量，顯示花東縱谷兩側每年有約 3 公分的相對位移。整個板塊聚合每年 8 公分中，超過三分之一的量是集中在這一個 5-10 公里寬、150 公里長的花東縱谷上。身處於花東縱谷中，你會發現好像位在兩道牆，或是兩個巨人中間的一條狹長谷地上。

更進一步來看，這每年 3 公分的位移量，主要是因為在花東縱谷上，有一個板塊交界的大斷層，我們通稱為「縱谷斷層」。而縱谷斷層，事實上是由幾個不同的斷層區段連接起來的，由北而南，大致可以分為花蓮、光復、玉里、池上、台東等幾個斷層區段。每一個斷層區段有其各自不同的特性，但斷層之間也有彼此的牽引。

世界級的潛移速率

由於台灣東部發展相對較晚，地球科學的探索也相對較遲緩。從 20 世紀初期日據時代，對於台灣北部、西部的地質調查、礦產探勘等，已有相當程度的開發與進展，但是對於東部則比較缺乏有系統的科學記錄與研究。1951 年，花東縱谷地區發生一系列大地震，也促使了近代地球科學家對花東地區地球科學調查研究的肇始，同時也初步體驗到花東縱谷可能孕育了強烈變形作用的潛能。但是，要等到 80 年代之後，才開始有深入且有系統地紀錄及探討縱谷斷層的活動行爲。

從 80 年代中期，台灣科學家開始在花東縱谷進行地殼變形測量，並展開地表活斷層的調查研究。測量的結果，證實了縱谷斷層確實是花東縱谷中一個主要的變形帶；斷層的滑移作用，造成地表斷層帶每年持續有 2-3 公分的壓縮及位移。在整個 150 公里長的縱谷斷層中，在北端的花蓮區段、中南段的玉里、池上、台東段，都有明顯每年持續移動的現象，地球科學家把這種現象稱之為「斷層潛移」。斷層潛移是 60 至 80 年代在美國加州板塊交界大斷層的研究中，所發現到的一個斷層活動的特殊現象。

在花東縱谷中，地表斷層的活動現象，以池上斷層區段最為明顯。1984 年法國地質學家 Barrier 和台灣中央地質調查所朱倣祖，發現到池上斷層帶有明顯的水泥檔土牆擠壓斷裂。在 80 年代末到 90 年代中，台灣與法國學者，包括了中央研究院、地質調查所、台灣大學等，便利用地表斷層帶斷裂的觀測分析，瞭解到池上斷層不但每年有非常快速而持續的斷層滑移，而且有清楚地逆斷層擠壓特性。身為台灣的地球科學家，我們也逐漸體會到池上斷層的潛移現象是世界級的，不僅滑移速率遠比美國聖安德列斯大斷層快，同時池上逆斷層的特性也打破一般認為平移斷層才會有斷層潛移的觀念。

雨水與斷層滑移有關？

在 90 年代中期，以中央研究院為首的台灣與法國學者，特別針對池上斷層，共同展開了長期研究監測計畫。希望從斷層的活動行爲的分析，可以瞭解這個板塊交界大斷層的特性，進一步嘗試可否對地震發生可能的評估。觀測斷層的技术也逐漸有更新、更多樣化的進展。例如，在斷層帶佈設潛變儀來監測每天的變位量（圖一），並建

立起斷層地表位移曲線。定期實施精密水準測量，以瞭解斷層如何造成地表抬升及錯位。而定期實施 GPS 測量，可以分析斷層帶詳細的變形量及變形類型與特性。另外，密集分佈的地震儀可以詳細記錄地震，包括非常微小的地震。

經過幾年的測量分析，觀察到池上斷層確實有持續性明顯快速的地表潛移，同時更顯露出另一個特性（季節性的變化。更進一步說，斷層的地表潛移和雨水或乾濕季，有密切的關連。當乾季時（通常為十月到翌年二月），潛變儀顯示出地表斷層幾乎停滯不動；而雨季一來，便有非常明顯的地表潛移，持續至雨季結束。事實上，雨季潛移的現象，在美國加州大斷層某些地點，也觀察到類似的現象，但是科學家對於雨水或地下水的效應，還沒有令人滿意的研究結論。雨水對池上斷層的效應影響所及之深度，科學家還沒有精確的答案，但是以斷層對雨水快速的反應及運動力學模擬的初步分析



圖一、架設在池上斷層地表破裂帶之「潛變儀」，紀錄每日斷層之變位，精度可達 0.01 公釐。

來看，應該是侷限在接近地表處而不至於太深。事實上，地震儀的紀錄分析顯示，池上斷層深入地下 25 公里，而地下 10-20 公里處的微小地震頻繁，完全不受雨水或乾濕季所影響。從另一個角度來看，池上斷層或美國等其他地表快速潛移的斷層，為什麼在乾季時地表會停止滑移，恐怕更是一個值得深思的問題。我們將在以下得到一些初步的答案。

池上斷層不會發生大地震嗎？

縱谷斷層曾於 1951 年發生一系列的強震，包括花蓮斷層區段規模 7.1、玉里區段規模 7.1；這兩起大地震強度雖不及 921 地震，但也造成花蓮地區相當的災情，房屋倒塌、人員傷亡、道路毀損等。值得注意的是，池上區段在這一系的地震中，引發了規模 6.2 的中型地震，雖然也造成了一些地表的損害，但影響程度遠遠低於以上兩個斷層地區。

自 1951 年以來，縱谷斷層便再沒有發生規模大於 6 以上的地震，以地震學的角度來看，縱谷斷層正在儲備累積能量，等待下一次的釋放。至於要累積多久才會釋放，造成中大型地震？或哪些斷層區段會先釋放？雖然我們有些科學上的蛛絲馬跡，但也還沒能完全掌握。我們還是回到池上斷層來看看。

2003 年，在相隔 52 年後，池上斷層又發生規模 6.5 之中型地震（名為成功地震），所幸也只造成了輕微的損害。我們從池上斷層過去十幾年來的潛移記錄來看，發現其潛移速率約從 2000 年起，也就是成功地震發生前四年左右，有了顯著的減慢，從原先之每年約 3 公分變成每年 1.5 公分。換個角度，我們可以說，當斷層快速潛移時，它在持續釋放能量；當速率變慢時，斷層很可能在累積板塊擠壓產生之能量。當斷層累積的應力超過摩擦力（這是一個簡化的說法，實際上的地震過程更複雜），便產生地震。雖然我們在 2003 年地震發生前，便注意到池上斷層潛移速率的變慢，但是要累積多久能量才會釋放，我們至今仍沒有明確的答案。另一個在成功地震中，值得注意的現象是，池上斷層地表淺處的岩石似乎會鎖定斷層的滑移。成功地震地殼深處發生的地震錯位，無法瞬間快速穿越地表，很可能是地表岩石的鎖定效應，使得錯位侷限在數公里深以下。成功地震發生在乾季。也許這個效應也可以解釋為什麼在乾季時地表潛移會停滯不動。

位於板塊交界中的交界之縱谷斷層，受到板塊的聚合碰撞，肯定是會發生大地震的。然而縱谷斷層中的某些區段，如池上斷層，由於其組成及特殊之力學特性，也許不利於累積太多能量就得釋放，而使得其常發生中型地

震，而不至於發生大地震。雖然如此，我們還是不敢貿然斷定說池上斷層是不會發生大地震的。事實上，科學家目前也正在利用一些新的分析技術，如槽溝開挖，也就是在斷層帶開挖，分析過去數千或數萬年來這個斷層的變形活動歷史。這個工作在池上地區仍在進行中，期待不久的將來，我們可以有更進一步的成果。

在許多地球科學家的眼光裡，池上斷層是台灣的一個寶，我們還需仰賴它來解開更多地球科學之謎。一位知名國際的美國科學家 Roeloffs 曾說道：「池上斷層是我所見過最令人驚豔之快速潛移的逆斷層。」