

從地殼變形與斷層活動討論地震災害 潛在性：花東縱谷池上活斷層的研究

李建成¹、朱傲祖²、安朔葉³、胡植慶⁴、余水倍¹、陳宏宇¹
鄭富書⁵、林正洪¹、饒瑞鈞⁶、周錦德⁷、張勝雄⁸、姜國彰⁸



1. 中央研究院地球科學研究所
2. 經濟部中央地質調查所
3. 法國巴黎第六大學地體構造學系
4. 台灣省中等學校教師研習會
5. 國立台灣大學土木工程學系
6. 國立成功大學地球科學系
7. 國立海洋大學應用地球物理研究所
8. 東台灣研習會

節 要

本文以台灣東部花東縱谷池上活斷層為例，來探討地表變形與斷層活動的監測，及與地震災害潛在性研究的關係。池上斷層位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊交接的縫合帶上，曾於1951年發生規模6.2之災害性地震。有鑑於此，近二十年來，在池上地區陸續從事地殼變形的各項相關研究。包括有跨越縱谷雷射測距儀之三邊測量、斷層露頭的地質調查及位移量直接量測、橫越縱谷之水準測量、活斷層上之潛變計裝置及監測、全球衛星定位系統測量、斷層帶之精密三邊測量及水準測量等。研究結果

顯示，跨越縱谷之地表變形，集中在寬約數十公尺的池上斷層帶。而池上斷層每年以二至三公分的水平縮短量持續潛移。另外池上斷層上潛變計的監測紀錄顯示，斷層地表的潛變速率有季節性的變化，並似乎與水（雨水或地下水）的作用有密切的關係。池上斷層的活動方式，大致有劇烈（如災害性地震）及緩和（潛移滑動）兩種方式。雖然我們大致已了解池上斷層現今數十年來的活動狀況，是屬於緩和之快速潛移。但是完全無法掌握何時會有大地震、何時沒有大地震而池上斷層快速潛移；同時也不清楚地表快速潛移是否直接源於地下小地震不斷。我們認為一方面應持續監測

地質

活動斷層

池上斷層的活動，包括地表的潛變及地下地震活動，以掌握地殼能量的釋放情形；另一方面應加強對池上斷層過去活動歷史的了解，亦即古地震及地震地質的研究，以了解池上斷層地震的週期。如此可以較為掌握池上斷層現在與過去位移與地震活動的構造特性，同時對於地震在池上斷層帶發生的潛在性評估，可以提供一更好的科學依據。

前言

台灣位處菲律賓板塊與歐亞板塊相接之造山帶。台灣地區受兩板塊聚合作用，自上新、更新世以來，逐漸造成了山脈（Suppe, 1981; Ho, 1986）。隆起的山脈中，廣佈的褶皺及斷層等構造，顯示受到強烈的地殼變形作用。此板塊聚合作用，亦反映在現今台灣地區頻繁的地震活動上。而地震發生的地區幾乎涵蓋整個台灣地區（Tsai, 1986; Rau et al., 1999），顯示台灣大部分地區或多或少都受到了地震的威脅。根據一百多年來觀測資料及史籍記載，台灣在過去每十或二十年即有嚴重災害之地震發生（鄭世楠等，1999）。如1906年規模7.1嘉義

地區梅山地震、1935年規模7.1苗栗台中地區紙湖屯子腳地震、1946年規模6.1台南地區新化地震、1951年規模7.3花蓮地震及台東地區規模7.0玉里與規模6.2池上地震、1964年規模6.3嘉義地區白河地震、1972年規模6.9瑞穗地震、及最近的1999年規模7.6台中南投地區集集地震。為了減低地震所帶來的災害，我們認為首先了解台灣地區地震活動的特性，可幫助我們能採取適當的因應措施。

地震與地殼的變形作用是息息相關的。地震多發生在地殼中容易斷裂的脆弱帶，或稱之為斷層帶。大地震發生時，大多從深處的震源開始破裂，沿著斷層帶延伸至地表，造成地表大規模的斷裂（Shaw and Shearer, 1999）。從能量釋放的觀點來看，地殼中儲存的能量，大多藉由地震來釋放；大地震釋放大能量，小地震釋放小能量。大地震造成劇烈的大範圍地殼變形，小地震造成輕微的小區域地殼變形。在板塊聚合的台灣地區，由於板塊彼此間的擠壓作用，應力及能量不斷在地殼中累積，地震的發生不可避免。

我們的提出問題是，地殼內的能量對某一個區域而言，在今天或過去數十

地質

活動斷層

年來，究竟是在逐漸累積中（如暫時停止活動之斷層）？還是逐漸釋放中（如持續潛移之活斷層）？地表活斷層的持續變形潛移，是否表示能量在逐漸釋放中？地表活斷層的變形潛移作用，是否是由地殼中之小地震所引發？從監測及研究地表的變形作用，是否可以了解地殼中能量累積及釋放的狀況，間接推測大地震發生的潛在可能性？從另一個角度來看，在一個地表變形持續活動的區域，如果地表變形作用突然減慢或停止，是否暗示地殼能量正在某處累積，而有較大地震發生的潛在可能性？如果能更進一步了解地表變形持續活動的作用與小地震及斷層的關係，對於地震發生脆弱斷層帶的位置，將可以有更好的掌握。

本文以位於台灣東部花東縱谷之池上活斷層為例（圖一），來探討活斷層地表潛移變形與地震災害潛在性的關係。自1951年災害性大地震以後，池上地區就沒有再發生過大地震；取而代之的是地表持續的潛移變形作用。從1983年起，在池上地區開始有地表變形的測量及觀測等研究工作，並持續進行至今。對於池上活斷層與地震的探討提供

了一個詳細的基本資料及研究基礎。本文隨後將先描述池上斷層在地體構造架構的位置，及池上地區的地質概況。然後詳細敘述池上斷層的地表變形及相關的研究工作。持續的地表變形監測，並結合更多地震學及地震地質學的研究，將有助於了解池上斷層現在及過去的位置及地震活動特性，同時並作為地震災害潛在性評估的學術基礎。

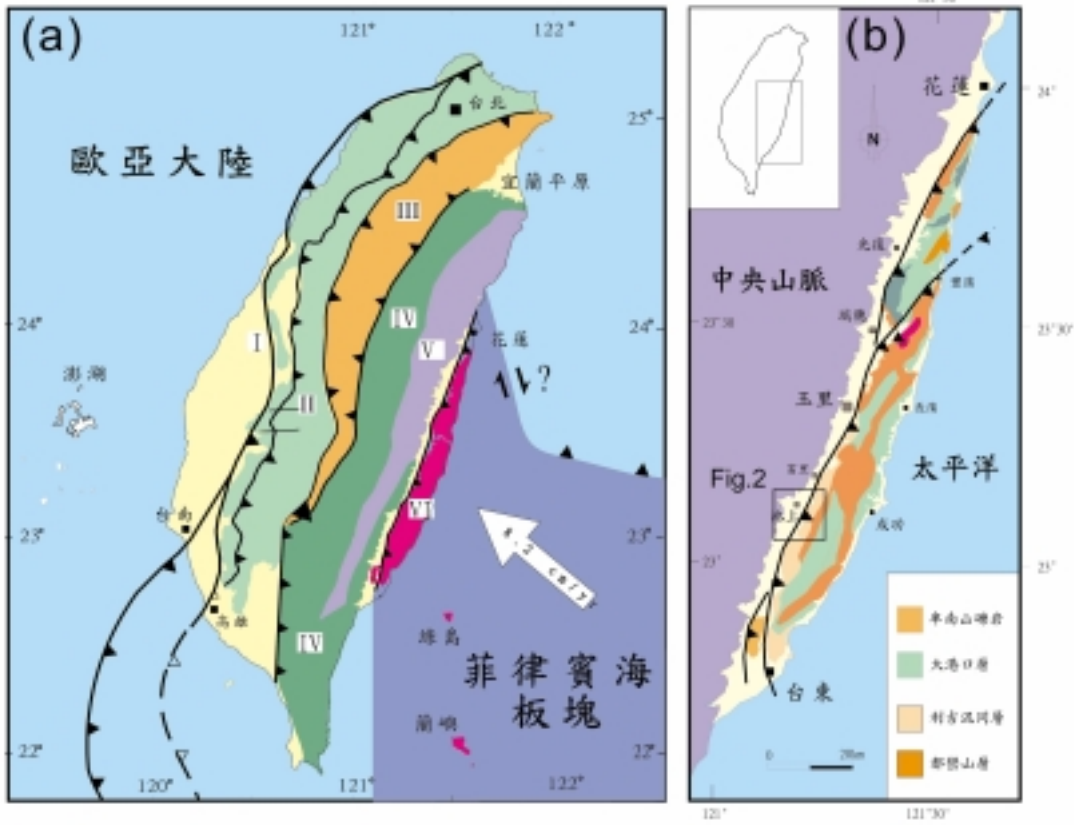
池上斷層之地體構造及地質概觀

池上斷層位於台灣東部花東縱谷中，為縱谷斷層（LVF, the Longitudinal Valley fault）南段的一活斷層區段。花東縱谷在地體構造上的意義代表菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的縫合帶。池上斷層即為此兩板塊聚合帶花東縱谷中地表變形最明顯的斷層之一。在台灣地區，大地測量資料（GPS測量; Yu et al., 1997）顯示菲律賓板塊與歐亞板塊現今以每年約八公分的速率聚合，而池上斷層即吸收了二公分，另外其他六公分則分佈於台灣造山帶中，如東部海岸山脈及西部麓山帶。

在地質的組成上，池上斷層代表的

地質

活動斷層



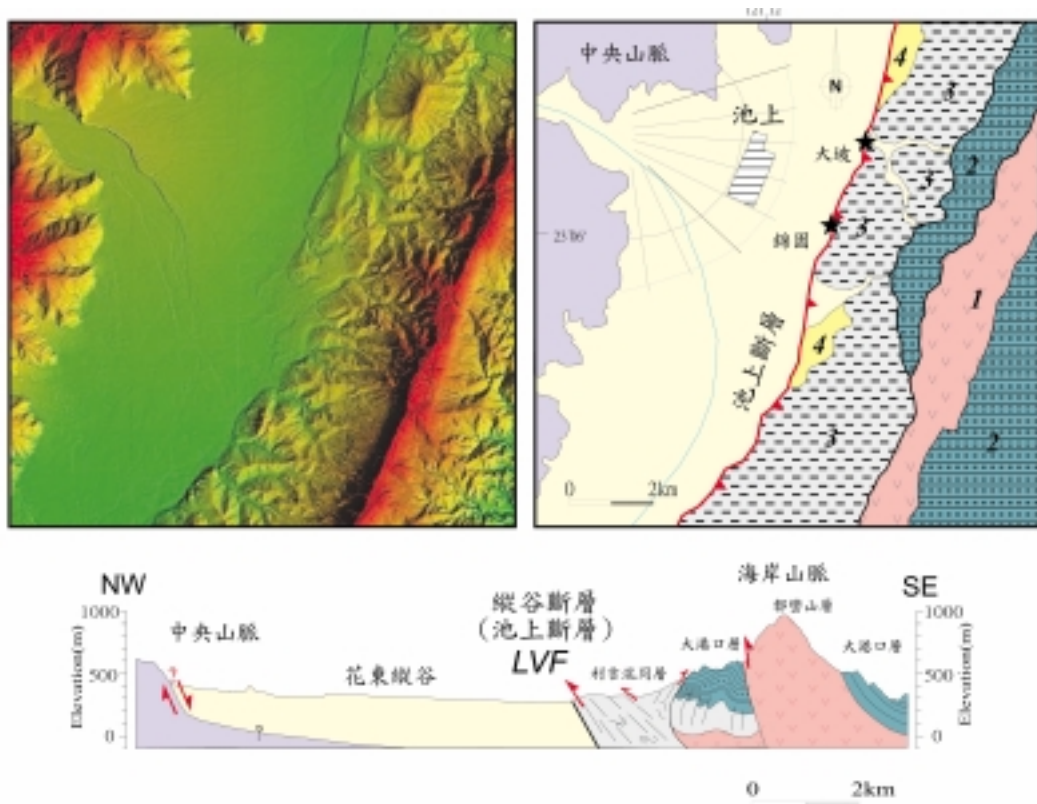
圖一 (a) 台灣地體構造及地質構造圖。(b) 台灣東部花東縱谷及海岸山脈的地質構造圖。

意義為，海岸山脈（菲律賓海板塊上之呂宋島弧系統）向西逆衝至縱谷及中央山脈（歐亞大陸之地殼及大陸邊緣沉積

物）之上。池上斷層上盤為海岸山脈之利吉混同層，下盤為縱谷之第四紀及現代沖積層。從地震的分佈（Tsai,

地質

活動斷層



圖二 池上地區之地形影像、地質分布、及地質剖面圖。地形影像是由四十公尺數值地形所產生之陰影影像圖。池上斷層位於海岸山脈西緣與縱谷交接處。斷層崖形成明顯的地形崖。地質剖面顯示池上斷層向東傾斜約五十度、海岸山脈沿著斷層逆衝至縱谷之上。

1977)、大地測量的資料 (Yu and Liou, 1989; Lee and Angelier, 1993)、及地質的觀察 (Barrier and Chu, 1984; Angelier

et al., 1997) 等資料的綜合分析, 海岸山脈與縱谷邊界之池上斷層, 為走向約北20度東、向東傾斜約50度、有30% 左

地質

活動斷層

移分量之逆衝斷層。

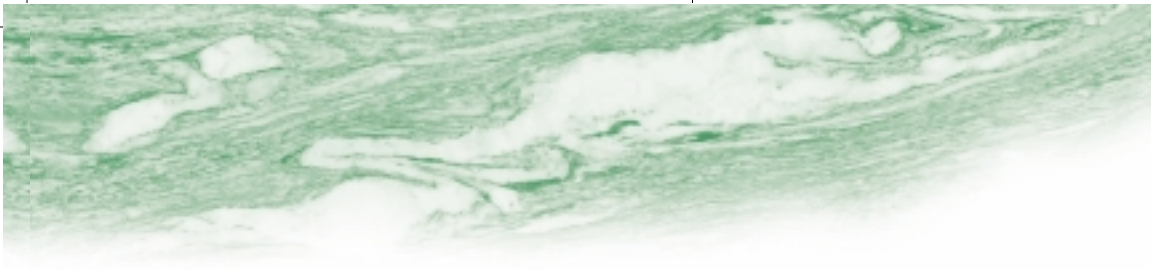
在地形上，池上斷層位於一北北東走向、接近直線之地形斷崖上（圖二）。在四十公尺解析度之數值地形影像上，可以很清楚的觀察此地形斷崖，為海岸山脈與花東縱谷明顯之地形邊界，同時也表示池上斷層在晚第四紀以來有持續之活動。另外在斷層下盤靠近斷層處有低陷窪地（大坡池），可能即是斷層活動所造成之構造（Sag pond）。

池上斷層地區的地表變形特徵

池上地區在1951年曾經發生規模6.2災害性大地震（Cheng et al., 1996），造成地表斷裂、鐵軌彎曲、建築物倒塌毀壞等災害。1951年池上斷層之地震滑移造成地表20至30公里長的斷層崖，地表垂直位移量可達1—2米（Hsu, 1955; 1962）。從1951年至今，池上地區即沒有再發生過規模大於6之地震（1972年池上斷層北方約五十公里之瑞穗曾發生M6.9地震）。在這約五十年的地震休眠期中，沒有發生地表急劇斷裂；取而代之的是，沿著池上活斷層帶中的地表潛

移變形作用及地下中小規模的地震（如1992年池上地區東側發生M5.4、深度約10公里的地震，為池上斷層活動；游明聖等，1994）。特別是從大坡村到錦園村，沿著海岸山脈與縱谷交界處（即池上斷層帶），發現許多潛移變形作用的破裂現象，在地表之人工建物如檔土牆、路面、溝渠、房屋等造成破壞。以下以大坡檔土牆及錦園溝渠兩露頭為例，說明描述池上斷層地區地表潛移變形作用的現象。

位於池上斷層帶之大坡村前道路旁之檔土牆（圖三a），曾發生明顯之潛移變形的破裂。早於1982年，在檔土牆上，即發現有逆斷層型態的破裂面（Barrier and Chu, 1984）。1984年建立了新的檔土牆後，1986年在牆上發現有逆斷層型態之雁行裂縫（Angelier et al., 1997）。1990年在原有的逆斷層破裂前緣數公尺處，發育另一條逆斷層裂面。1990年至1994年間，這兩條逆斷層裂面持續發生潛移變形（每年約有二公分的水平縮短量；Lee, 1994; Angelier et al., 1997）。1994年底，重建了新式檔土牆，強度大於原先之舊式檔土牆，迄今



地質

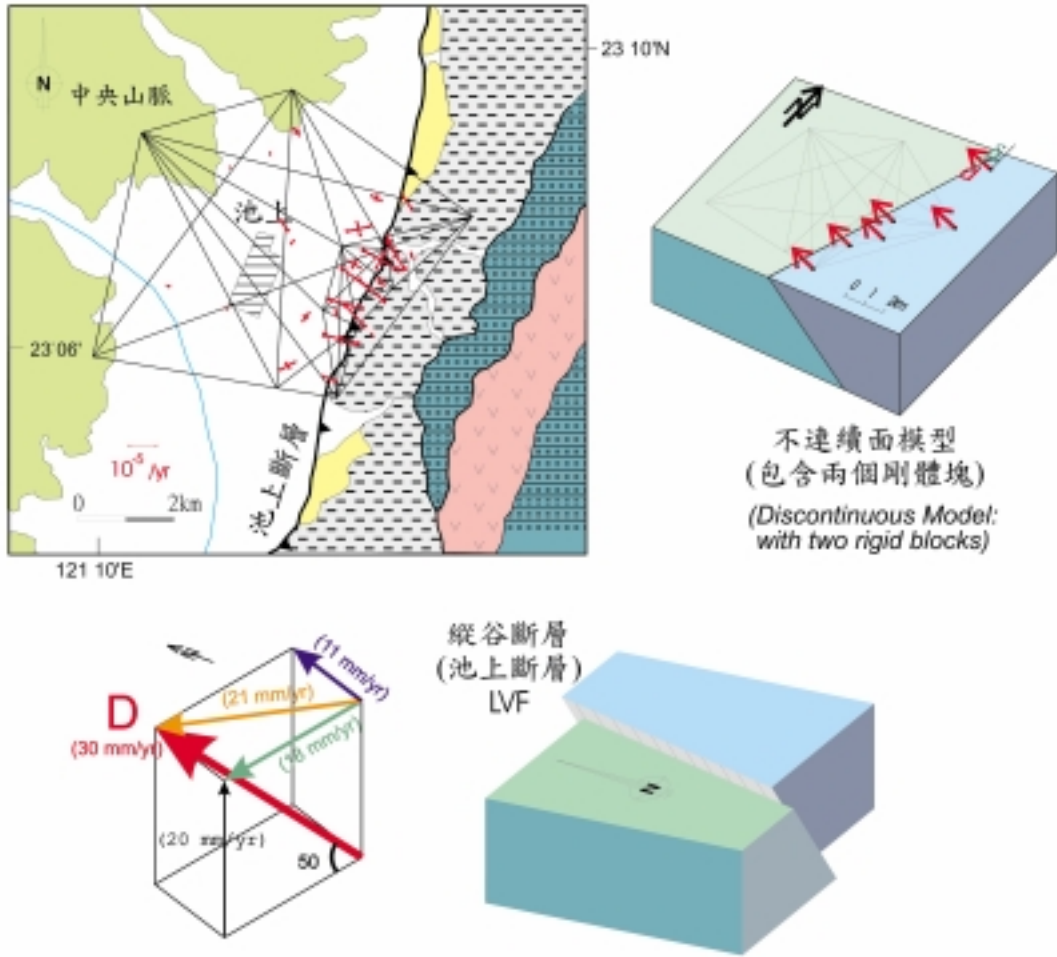
活動斷層



圖三 池上斷層之地表露頭照片。a. 公路旁擋土牆上有逆衝斷層式的破裂面，地點在大坡村前之上坡道路旁。b. 排水溝護坡呈現逆衝斷層式的破裂面，地點在錦園村北之排水溝。

地質

活動斷層



圖四 池上地區跨越縱谷兩側之雷射測距儀三邊測量網及分析成果。a. 三邊測量網之應變分析（依據Yu and Liou, 1989；Lee and Angelier, 1993）。b. 利用不連續面模型分析池上斷層之變形。c. 集合三邊測量分析及水準測量得到池上斷層之年平均位移向量。

2001年新的檔土牆仍未發生破裂。

同樣位於池上斷層帶，在大坡村南約二公里、錦園村北側的溝渠上（圖三b），也觀察到有明顯之潛移變形的破裂。錦園村的溝渠建於1984至1985年間。溝渠護牆上產生之變形破裂，首先在1988年觀察到一條破裂面。1991年發現護牆上已有兩條類似逆斷層型態的破裂面，兩者相距數十公尺。同時亦發現到前緣數公尺處，有另一條斷層的裂縫正在發展中。到1993年，兩條逆斷層裂面持續潛移，而前緣第三條斷層終於發育成一斷層裂面。1993年迄今1999年，三條斷層裂面持續有潛移變形作用，每年持續有約二公分的水平總縮短量（Angelier et al., 2000）。

池上斷層地區地表變形的測量

地表地殼變形的測量方法，主要可依空間尺度及時間尺度來分。以空間尺度來說，中長距離（如數公里至數十公里）多使用全球衛星定位系統測量（GPS）、干涉合成口徑雷達（INSAR）；中短距離（數公里至數十

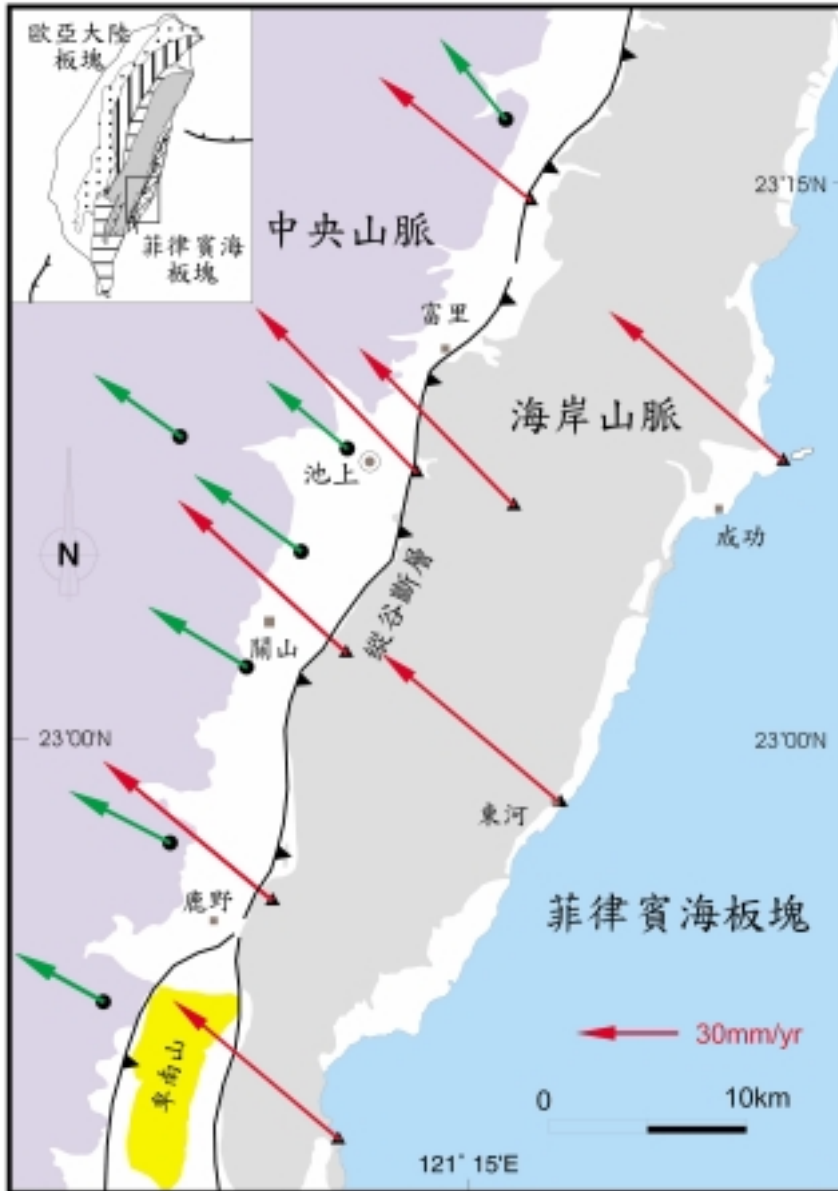
公尺）可使用雷射測距儀、長距離應變計（strainmeter）、水準測量（leveling）；短距離（數公尺至數百公尺）則使用雷射測距儀、短距離應變計、水準測量、潛變計（creepmeter）、傾斜計（tiltmeter）。以時間尺度來說，從每分鐘為單位的測量至以天為單位，可使用應變計、潛變計、傾斜計；以月至年為單位，可使用全球衛星定位系統測量（GPS）、雷射測距儀、水準測量；以年為單位，可使用干涉合成口徑雷達及全球衛星定位系統測量。

一、雷射測距儀三邊測量

池上地區地表地殼變形的測量，肇始於80年代中期。中央研究院余水倍等人於1986至1988年間，池上地區從事雷射測距儀三邊測量（EDM trilateration network）及水準測量（Yu and Liou, 1989）。研究結果顯示出，在跨越池上斷層的測量基線，呈現出很明顯的地殼變形作用（圖四）。經資料處理分析，並採用不連續面模型（Discontinuous model, Lee and Angelier, 1993），可計算出池上斷層每年約有兩公分的水平位移

地質

活動斷層



圖五 花東縱谷中南段之水平位移向量。縱谷兩側之全球衛星定位 (GPS) 測量站之測量結果顯示，沿著縱谷有明顯之水平位移。如池上地區、海岸山脈相對於中央山脈每年西移31mm，位移方向為北40度西。(繪圖依據Lee et al., 2001；GPS資料來源Yu et al., 1997)。

量 (Yu and Liou, 1989; Lee and Angelier, 1993)。從地表地質露頭的觀察分析，結合測量資料，得出此2公分之年水平位移量，可分為1.8公分之逆斷層縮短量和1.1公分之左移斷層滑移量 (圖四；Lee and Angelier, 1993; Angelier et al., 2000)。

二、全球衛星定位系統法大地測量

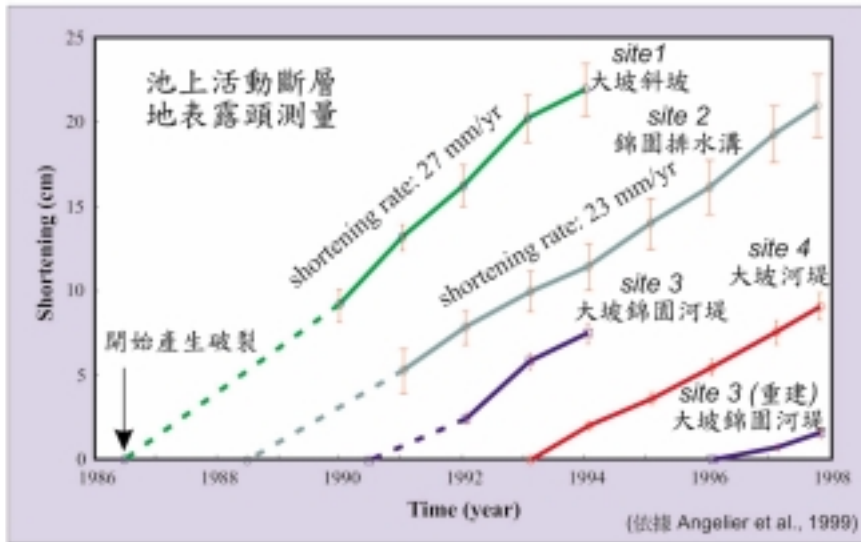
中央研究院余水倍等人於1989年起，在整個台灣開始佈設全球衛星定位系統 (GPS) 地殼變形測站網。在池上斷層地區，在縱谷兩側之海岸山脈及中央山脈分別有測站。1992至1999年的持續觀測顯示，在池上地區，海岸山脈相對於中央山脈有30-35mm/yr的移動速率 (圖五) (Yu and Kuo, 2001)。雖然有可能部分地表變形發生在跨越花東縱谷的其他地區，在以上30-35mm/yr的移動速率中，大部分的變形應是集中在池上斷層帶上。因此，GPS測量顯示，池上斷層在1992至1999年仍持續活動，每年可能有2至3公分的水平位移量。

三、地表破裂及活斷層的露頭變形測量

地表破裂及活斷層露頭的變形測量，於90年代初開始。中央研究院 (李建成、胡植慶)、經濟部中央地質調查所 (朱傲祖)、及法國居里大學 (Angelier) 等研究單位共同合作，沿著花東縱谷展開地表活斷層的調查以及活斷層露頭的變形測量。其中特別是在池上地區，由於池上斷層的地表破裂非常清楚明顯，適合於做活斷層變形的測量。從1990年起，上述之活斷層研究團隊，開始針對池上斷層數個露頭，展開每年一至二次詳細的觀測及測量 (Chu et al., 1994; Lee, 1994)。其斷層的露頭變形測量大致分為兩種：一是直接量測斷層面上的位移量；二是在斷層露頭上植入鋼釘，量測鋼釘之位移量 (Angelier et al., 1997)。迄今經過十年 (1990-2001) 的測量，研究結果顯示，池上斷層每年有持續的潛移活動位移現象 (圖六)，累積十年有約25公分的縮短量，亦即每年有約25mm的縮短量 (Angelier et al., 2000)。

地質

活動斷層



圖六 池上斷層地表露頭之位移量測。上為斷層地表破裂露頭照片。下為根據數個露頭點之量測分析，所得到之地表破裂位移量相對於時間之變化曲線。

四、潛變計的監測

在初步了解池上斷層的地表露頭及大致年位移量之後，於1998年，池上活斷層研究團隊在大坡國小及錦園村兩地裝設了潛變計 (creepmeter)，來監測現地地表的斷層活動現象 (Lee et al., 2000; Lee et al., 2001)。其中在大坡國小的斜坡上裝置了兩組潛變計，互相連接而跨越斷層。在錦園村的排水溝堤上，則裝置了三組潛變計，分別對應於三條地表活斷層破裂線 (圖七)。此潛變計基本上提供每日斷層地表活動的狀況，由池上當地熱心人士協助紀錄資料 (包括大坡國小退休校長張勝雄、大坡國小曹音鵬主任、錦園村盧美錡小姐、台東市退休教師姜國彰老師等)。

經過三年的監測，大坡國小的潛變計記錄了55mm (每年18公厘) 的縮短量；錦園村的三組潛變計分別記錄了15mm (每年5公厘)、9mm (每年3公厘)、18mm (每年6公厘)，總和共為42mm (每年14公厘) 的縮短量 (圖七) (Lee et al., 2002)。另外潛變計的連續紀錄，顯示出斷層地表的潛移作用呈現有季節性的現象。乾季時，潛移作用幾近

停止 (每組潛變計有些許不同)；雨季時，有相對快速的潛移作用 (Lee et al., 2001)。

五、精密水準及三邊測量

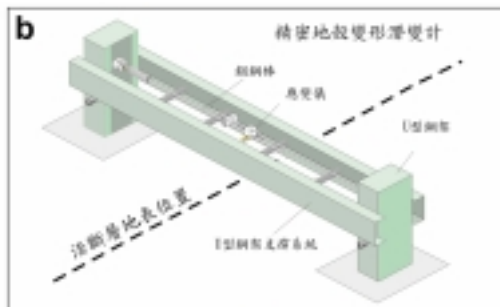
為了更了解在池上斷層帶地表變形的詳細斷層或變形構造幾何及三度空間的位移狀態，池上活斷層研究團隊於1999年起，開始進行斷層帶小區域的精密水準與三邊測量。在池上斷層帶中選定有五個斷層址從事此測量工作。每個斷層址分別設立一個獨立測量網，範圍從三、四十公尺至二、三百公尺不等。目前此測量工作每年施測兩次，不久的將來可以見到研究結果。

花東縱谷南段地區的地震活動

台灣地區早期的地震觀測開始於二十世紀初期，由日本殖民時代所設立之地震觀測網。由於全島僅有少數地震站 (1901年草創6站，爾後至1935年陸續建立共17站)，對於地震的詳細資料如地震位置等，無法得知。台灣光復後，由中央研究院地球科學所於1972年建立了

地質

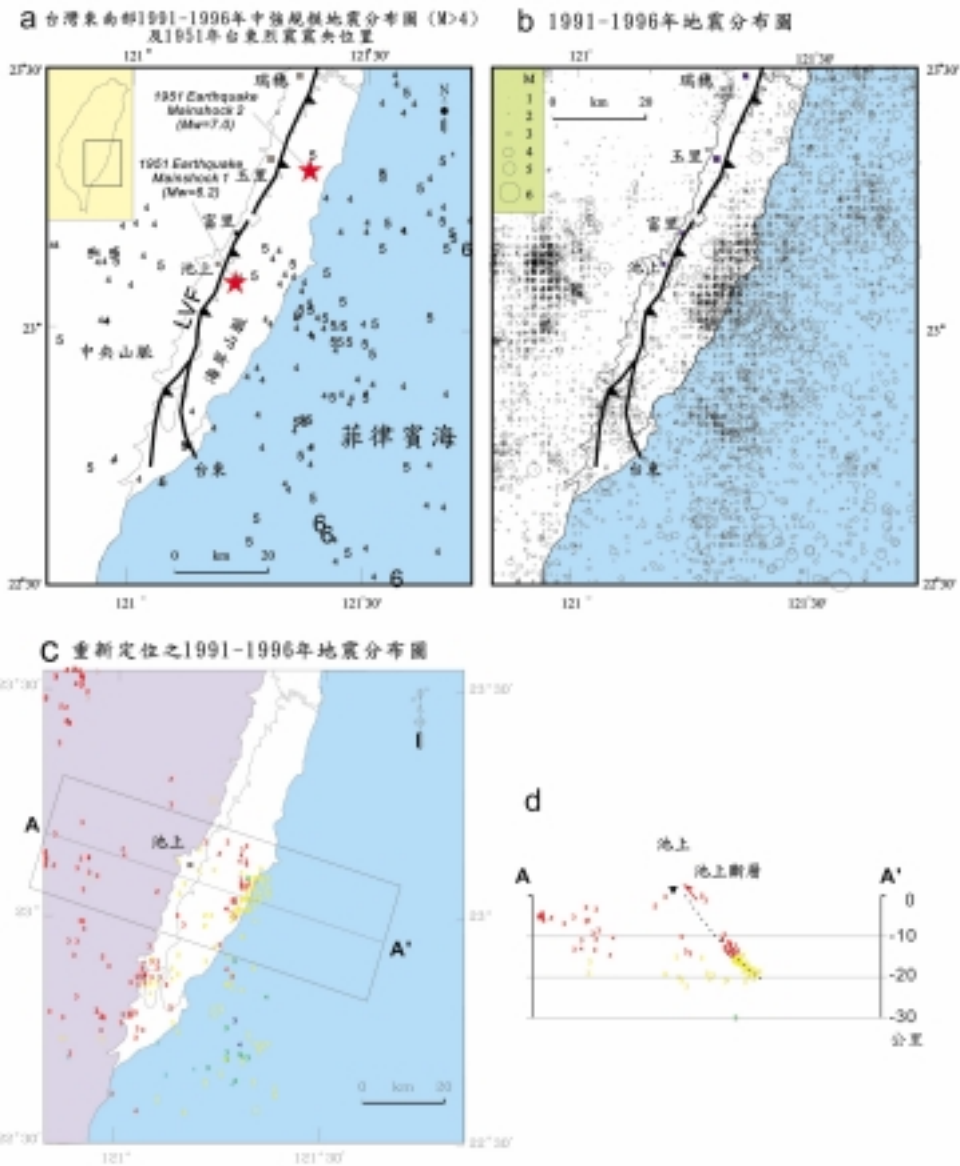
活動斷層



圖七 池上斷層帶上之潛變計及觀測紀錄。上圖為裝置於錦園斷層露頭上之潛變計照片。中間圖為潛變計之機械構造圖。下圖為潛變計所紀錄之三年斷層滑移變化曲線圖。

地質

活動斷層



圖八 a. 台灣東南部中大規模之背景地震（1991-1996）分布及1951年玉里及池上地震震央位置圖。 b. 本區1991-1996所記錄到所有的地震分布圖。 c. 經重新定位計算之1991-1996地震分布圖。 d. 池上地區之地震分布剖面圖。

地質

活動斷層

包含24個地震站之台灣地震觀測網 (Taiwan Telemetered Seismographic Network, TTSN)，使得地震的紀錄有了革命性的發展。到了1990年起中央氣象局擴充其原有之地震觀測網，同時將原台灣地震觀測網 (TTSN) 併入成為更密集的地震網 (Central Weather Bureau Seismic Network, CWBSN)，全島包括有數百個地震站。

因此，對於包含池上地區花東縱谷南段而言，1975年以前地震紀錄非常簡略；1975年至1990年有較詳細的地震紀錄；而從1991年起便有了的非常詳細的地震活動紀錄。以下對於地震的討論分為兩部分：首先敘述及討論從1991年以來池上地區地震分布的空間幾何型態，其次討論潛變計的地表斷層潛移季節性變化與斷層帶深處地震發生頻率的關係。

一、1991年以來之背景地震活動

從1991–2000年在池上台東地區的背景地震分布來看 (圖八)，有一個明顯的地震群發生在池上斷層東側10-20公里、深度10-20公里處。此地震群的分

佈，可以持續往南延伸至台東東側而逐漸減少。此地震群在空間上的分佈與地質資料推論之池上斷層的幾何分佈大致相符，顯示似乎主要為池上斷層的活動作用所產生的地震。此背景地震群的地震大小，包含小地震及中度地震，規模從一至五。池上地區頻繁的中小地震的發生，似乎可以解釋地表產生持續性的潛移作用，及能量在持續的釋放。

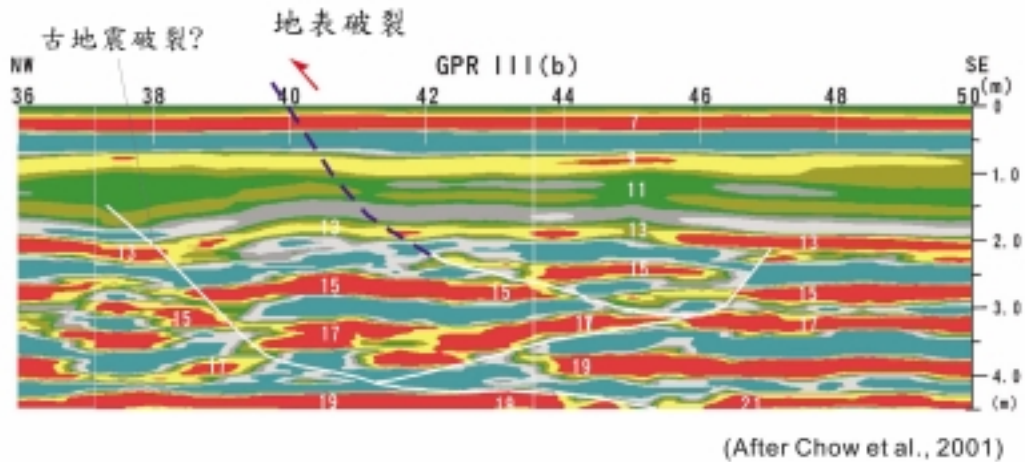
二、地表斷層潛移的季節性變化與地震活動

前面提到潛變計所紀錄之地表潛移，似乎有季節性的變化。即十一月至翌年二三月 (乾季)，斷層地表潛移近乎停滯；三四月至十月 (雨季)，斷層地表潛移速率快速。在細節上，不同潛變計所紀錄之快速潛移時期不盡相同，同時乾濕季與潛移速率改變期也不是完全切合。因此地表潛移速率與水 (包括雨水或地下水等) 的作用是否有關，目前還不十分清楚，需要更進一步或其他相關的研究。

斷層地表潛移速率快速期，是否也反映了斷層深部地震高頻率期呢？將

地質

活動斷層



圖九 錦園地區池上斷層之透地雷達地下構造影像（依據Chow et al., 2001）。圖上顯示在處有過去斷層活動紀錄，有可能代表古地震的斷層活動。

1991年以來池上地區的背景地震，經過初步分析後顯示，每年四月至八月（特別是五月至七月）地震發生的次數較多。從初步分析結果看來，池上斷層地表潛移速率，與斷層深部地震發生頻率，有相當程度的關聯。而地表潛移與地震頻率（即斷層的活動），又似乎和水的的作用有某種程度的關係。很顯然的，我們還需要更多進一步的研究。如地表潛移速率與地震的大小及深度的關

係、水如何影響地震、水可以影響或觸發多深的地震等，都是需要釐清及探討的問題。

池上地區的古地震及地震地質研究

池上斷層現今的活動情況，從詳細的量測及地震儀紀錄資料，可以有一個大體上的了解。我們知道最近二十年來

地質

活動斷層

池上斷層每年以約兩公分的水平及垂直速度持續向西移動向上抬升；同時在地殼十至二十公里處持續有小至中度規模的地震發生。而池上斷層過去活動的歷史，迄今我們所知道的非常有限。例如過去幾千年以來，池上斷層發生大地震的次數及平均週期，目前完全沒有可靠的資料。池上斷層的歷史地震資料，僅有的是1951年規模6.2的地震，並造成地表數公里長約一公尺高的斷層崖錯動。

我們希望藉由古地震及地震地質學的研究，可以提供池上斷層長期活動的資料。不但藉以知道過去池上斷層大地震活動的歷史，同時更可以將池上斷層長期的平均移動速率與現今活動位移速率相比較，以了解池上斷層的活動特性，及將來發生大地震的潛在性。

目前池上斷層的古地震及地震地質的研究才剛剛開始。周錦德等人 (Chow et al., 2001) 利用淺層震測及透地雷達等地球物理的方法，在錦園地表活斷層破裂位置，探測並描繪出地下淺層構造的影像。其透地雷達的結果顯示有可能是古地震活動的構造紀錄 (圖九)。另外最近地表地質地地形構造的詳細調查，

顯示在池上斷層附近有三至四階不同高度的河階，分別代表不同時期的河流沉積面，可能受地震斷層作用而突然抬升。總而言之，以上初步的定性研究指示有池上斷層過去大地震活動的證據。然而定量的研究，尤其是地震發生的年代等時間的問題，還需要更進一步的研究，如河階的定年、槽溝開挖古地震剖面的分析等。

結語

位於台灣東部花東縱谷中南段之池上斷層，可說是板塊邊界縫合帶的主要斷層。近二十年來，不同時間及空間尺度的觀測與測量分析，針對池上斷層的變形範圍及活動速率，持續在池上地區進行，包括雷射測距儀之三邊測量、露頭直接量測、水準測量、潛變計、全球衛星定位系統測量等。

這些觀測與測量分析顯示，近二十年來，池上斷層以相當穩定的速率持續逆衝左移滑動 (有約三分之一的平移分量)。其水平縮短速率為每年二至三公分，佔跨越台灣島東西總縮短量每年八

地質

活動斷層

公分（由GPS測量結果）之25-37%。池上斷層可說是，菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊聚合帶中，能量主要釋放帶之一。

現今板塊聚合速率每年八公分，與推論板塊長期聚合速率每年七公分 (Seno, 1977; 1987)，兩者非常接近。顯示此現今短期速率八公分變形所釋放之能量，可能具有長期之代表性，亦即短期能量釋放相當於長期板塊聚合能量釋放之平均值。此是否指示池上斷層現今活動已釋放所有此地區的能量？受板塊聚合而產生的能量是否並沒有累積在池上地區？

池上斷層在地形上有明顯之斷層崖的形貌，顯示在近幾萬年內，有相當程度的活動性。池上斷層的活動，究竟是以持續之快速潛移滑動，亦或是產生有間歇地震？我們對於池上斷層過去地震或潛移活動的歷史，知道的非常有限，尤其是災害性大地震。從文獻的紀錄，我們僅知池上地區最近的一次災害性地震，是1951年規模6.2之池上地震，造成池上斷層地表約一至二米的錯動。到底池上斷層過去數萬或數千年來，地震及

潛移活動歷史如何？是否有週期性的大地震活動？如果有，週期如何？這些問題，都需要對地震、古地震及地震地質，做更進一步的研究。

池上斷層地表潛變的紀錄，指示斷層地表潛變速率與地殼較深處的地震活動性可能有關。而此兩者之活動，似乎有與水的作用有某種程度的關聯。我們需要進一步了解，水，在地震作用所扮演的腳色。例如水的存在，是否對地震有催化的效果？如果有，是什麼樣的水，可以產生什麼樣的作用？都需要做更進一步的研究。

致謝

池上斷層地表調查、露頭量測及潛變計的研究是中法地球科學合作計劃，由法國在台協會及國科會共同資助。特別感謝池上大坡國小曹音鵬主任及錦園村盧美錡小姐，長期熱心協助並參與池上地區活斷層的紀錄監測。本研究是由國科會數個研究計畫所支持，包括NSC88-2116-M047-004及NSC89-2116-M047-004。本文亦為中央研究院地球科

地質

活動斷層

學研究所之研究成果之一。

參考文獻

- 台灣省氣象所 (1951) 中華民國四十年地震報告, 83頁。
- 游明聖、朱傲祖、侯進雄、李建成, 1994。1992年5月29日成功地震及池上斷層。經濟部中央地質調查所彙刊, 第九號, 107-121。
- 鄭世楠, 葉永田、徐明同、辛在勤, 台灣十大災害地震圖集。中央氣象局及中央研究院地球科學所出版。290頁。
- Angelier, J., Chu, H. T., and Lee, J. C., 1997, Shear concentration in a collision zone: kinematics of the active Chihshang Fault, Longitudinal Valley, eastern Taiwan: *Tectonophysics*, v. 274, p. 117-144.
- Angelier, J., Chu, H. T., Lee, J. C., and Hu, J. C., 2000, Active faulting and earthquake risk: the Chihshang Fault case, Taiwan: *Jour. Geodynamics*, v. 29, p. 151-185.
- Barrier, E., and Chu, H. T., 1984, Field trip guide to the Longitudinal Valley and the Coastal Range in eastern Taiwan, in Sino-French colloquium, p. 27-49.
- Cheng, S. N., Yeh, Y. T., and Yu, M. S., 1996, The 1951 Taitung earthquake in Taiwan: *J. Geol. Soc. China*, v. 39, no. 3, p. 267-285.
- Chow, J., Angelier, J., Hua, J.J., Lee, J.C., and Sun, R., 2001, Paleoseismic event and active faulting: from ground penetrating radar and high-resolution seismic reflection profiles across the Chihshang Fault, eastern Taiwan, *Tectonophysics*, 333, 241-259.
- Chu, H. T., Lee, J. C., and Angelier, J., 1994, Non-seismic rupture of the Tapo and the Chinyuan area on the southern segment of the Huatung Longitudinal Valley Fault, Eastern Taiwan, in *Annual Meeting of Geol. Soc. China, Taipei*, p. 1-5.
- Ho, C. S., 1986, A synthesis of the geologic evolution of Taiwan:

- Tectonophysics, v. 125, p. 1-16.
- Hsu, T. L., 1955, The earthquakes of Taiwan (in Chinese): Quart. J. Bank of Taiwan, v. 7, p. 39-63.
- Hsu, T. L., 1962, Recent faulting in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan: Mem. Geol. Soc. China, v. 1, p. 95-102.
- Lee, J. C., and Angelier, J., 1993, Location of active deformation and geodetic data analyses: an example of the Longitudinal Valley Fault, Taiwan: Bull. Soc. Geol. France, v. 164, no. 4, p. 533-570.
- Lee, J. C., 1994, Structure et deformation active d'un orogene: Taiwan. Mem. Sc. Terre thesis: Universite Pierre et Marie Curie, 281 p.
- Lee, J.C., Jeng, F.S., Chu, H.T., Angelier, J. and Hu, J.C., 2000. A rod-type creepmeter for measurement of displacement in active fault zone: Earth, Planets, and Space, 52, 5, 321-328.
- Lee, J. C., Angelier, J., Chu, H. T., Hu, J. C., and Jeng, F. S., 2001, Continuous monitoring of an active fault in a plate suture zone: a creepmeter study of the Chihshang active fault, eastern Taiwan: Tectonophysics, v. 333, p. 219-240.
- Seno, T., 1977, The instantaneous rotation vector of the Philippine Sea plate relative to the Eurasian plate: Tectonophysics, v. 42, p. 209-226.
- Seno, T., Maruyama, S., Stein, S., Wood, D. F., Demets, C., Argus, D., and Gordon, R., 1987, Redetermination of the Philippine Sea plate relative to the Eurasian plate motion: Eos, Trans. Am. Geophys. Union, v. 68, p. 1474.
- Shaw, J., and Shearer, P., 1999, An elusive blind-thrust fault beneath metropolitan Los Angeles: Science, v. 283, p. 1516-1518.
- Suppe, J., 1981, Mechanics of mountain building in Taiwan: Mem. Geol. Soc. China, v. 4, p. 67-89.
- Tsai, Y. B., Teng, T. L., Chiu, J. M., and Liu, H. L., 1977, Tectonic implication of the seismicity in the Taiwan region: Mem. Geol. Soc. China, v. 2, p. 13-42.

地質

活動斷層

Tsai, Y. B., 1986, Seismotectonics of Taiwan: Tectonophysics, v. 125, p. 17-38.

Yu, S. B., and Liu, C. C., 1989, Fault creep on the central segment of the longitudinal valley fault, Eastern Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, v. 32, no. 3, p. 209-231.

Yu, S. B., Chen, H. Y., and Kuo, L. C., 1997, Velocity field of GPS stations in the Taiwan area: Tectonophysics, v. 274, p. 41-59.

Yu, S. B., and Kuo, L. C., 2001, Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley Fault, eastern Taiwan: Tectonophysics, v. 333, p. 199-217.