

臺灣活動斷層調查的近期發展

林啟文¹ 陳文山² 饒瑞鈞³

摘要

依據歷史紀錄，臺灣地區主要的災害性地震大多是斷層再活動所引起，1999年集集地震之後，活動斷層相關的新期構造調查研究，為地球科學界的主要研究課題。最初的活動斷層研究是調查斷層的幾何特性，採用地質調查、地球物理探勘與地質鑽探等方法，也得到相當的成果。目前的活動斷層研究，則逐漸邁向運動學分析，其中最重要的是地殼變形與古地震研究，前者利用大地測量方法分析斷層兩側的短期位移速率，而後者是分析斷層長期滑移速率與再現週期的主要方法。依據地球科學界的近期調查結果，本文針對38條臺灣主要的活動斷層作概述，並分別列出這些斷層的短期與長期滑移速率等參數，但這些資料仍須長期的觀測與分析才更有意義。雖然某些斷層的幾何型態與運動學特性已有參考性資料，但某些斷層對於是否存在仍有爭議，未來這些問題有待進一步釐清。

關鍵詞：活動斷層、新期構造、古地震、滑移速率、全球衛星定位系統、臺灣

前言

在地體構造上，臺灣位處歐亞板塊與菲律賓海板塊的交接帶，而台東縱谷是兩個板塊的縫合線。由現今頻繁發生的地震活動，指示板塊間擠壓作用仍然持續著，因此較新期的地質構造不斷地生成，而舊的地質構造也不斷地演進。地震地質是一個新興的跨領域學門，主要探討新期構造與人類活動的關係 (Yeats *et al.*, 1997)，而地震與活動斷層的關係即是地震地質的主要研究對象。依據過去一百多年的紀錄，臺灣地區主要的災害性地震大多是斷層再活動所引起，加上1999年集集地震造成的經濟與社會衝擊，因此活動斷層相關的調查與研究，近年來是我國地球科學界熱門的研究主題。

柏尼刺 (Bonilla, 1975, 1977) 最早將臺灣的活動斷層作系統性的整理，他以美國原子能委員會對活動斷層的認定標準，彙整臺灣地區截切全新世與

¹ 經濟部中央地質調查所

² 國立臺灣大學地質科學系

³ 國立成功大學地球科學系

更新世地層的47條斷層，列為活動斷層。徐鐵良、張憲卿（Hsu and Chang, 1979）重新整理臺灣的第四紀斷層，將第四紀晚期活動過的斷層列為活動斷層，共有36條斷層。由於上述地質工作者僅是資料整理，並未針對每一條活動斷層進行調查，因此中央地質調查所自1997年開始針對每一條活動斷層作普查工作，目的是為了確認臺灣主要活動斷層的位置與特性，並測製比例尺二萬五千分之一斷層條帶地質圖，以同時滿足工程界與學術研究的目的；當時採用石再添等（1986）與楊貴三（1986）所列的活動斷層作為調查標的，由於他們的成果主要是基於地形學的研究，因此張徽正等（1998）參考中央地質調查所出版的五萬分之一地質圖幅、中國石油公司臺灣油礦探勘總處的地質圖，以及各項報告中不同比例尺的地質圖後，編繪了一張比例尺五十萬分之一的臺灣活動斷層分布圖。1999年集集地震發生後，林啓文等（2000c）將部分已完成活動斷層普查的結果，以及當時已出版的相關報告加以彙整，重新編繪了一張比例尺五十萬分之一的臺灣活動斷層分布圖。

2002年起，中央地質調查所除了持續活動斷層普查工作之外，並開始活動斷層的精查工作，目的是希望瞭解活動斷層的滑移速率與再現週期。主要的工作包括：在近斷層處設置全球衛星系統（GPS）的監測點，以及跨斷層的精密水準測點，並定期測量，以分析每一活動斷層的短期滑移速率，另外也在重要斷層的兩側設置GPS連續追蹤站；為了分析斷層的長期滑移速率與再現週期，也同時進行古地震、構造地形與定年等相關調查工作。這些結果已經陸續在該所的網站公布。除此之外，目前該所也針對重要的活動斷層帶持續進行觀測與監測。

回顧過去10年，活動斷層的相關研究已逐漸由斷層的幾何學分析（geometric analysis），邁向運動學分析（kinematic analysis），雖然還有許多與斷層相關的問題與爭議尚未解決，但逐步完成這些參數之後，對於中期與長期的地震預測與斷層的動力學分析（dynamic analysis）都是重要的基本資訊。本文主要概述過去10年，地球科學界針對活動斷層調查的一些成果。

臺灣北部的活動斷層

臺灣北部的活動斷層，包括山腳斷層、南崁斷層、湖口斷層、大平地斷層、新竹斷層、新城斷層、竹東斷層與斗煥坪斷層等，共8條斷層（圖一）。

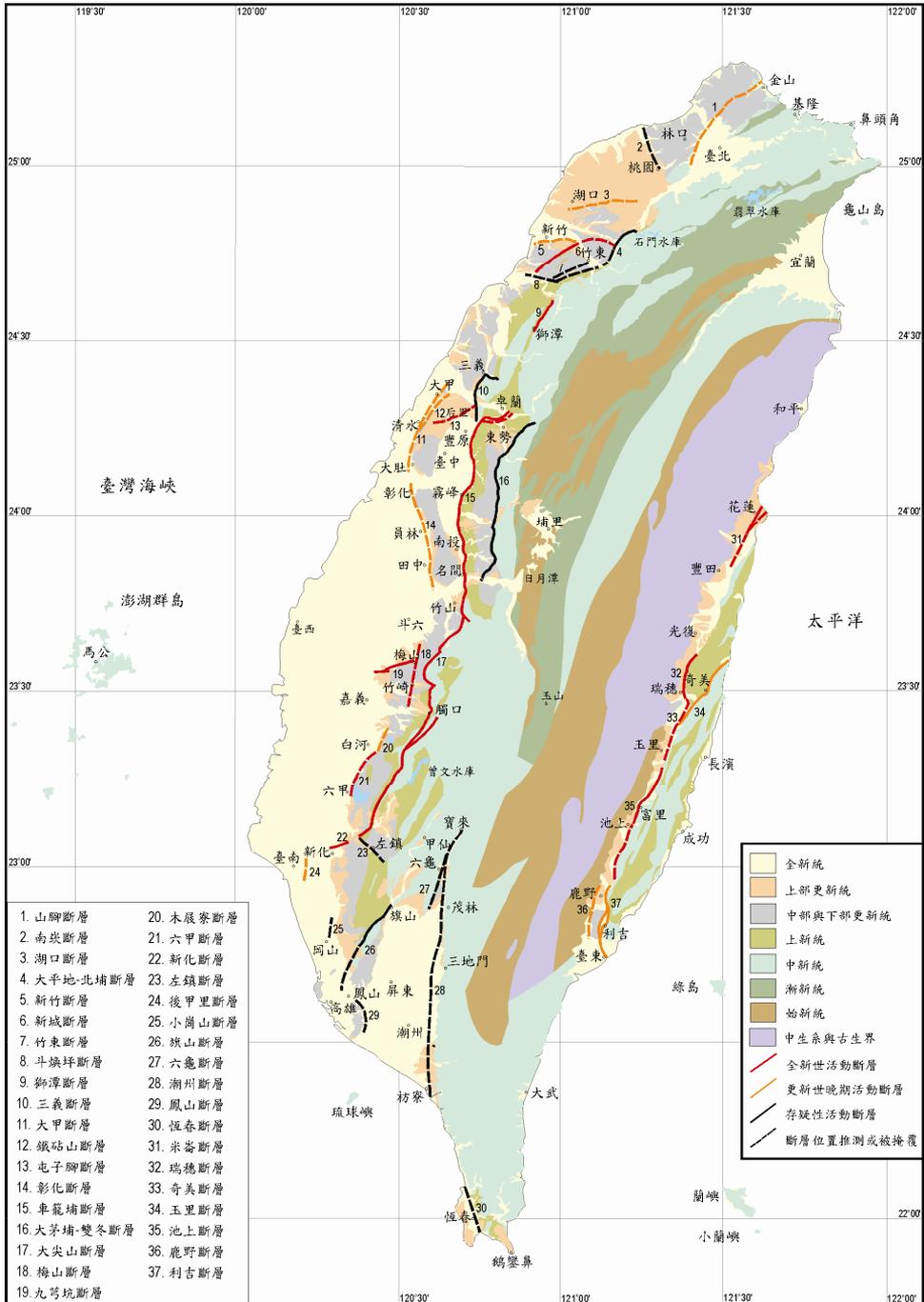
山腳斷層，為正移斷層（林朝棨，1957），呈北北東走向，可以分為2

段：南段自台北縣新莊向北延伸至北投，北段由北投向北延伸至金山。山腳斷層的南段，為第四紀沖積層所掩覆，北段為大屯山的火山岩所掩覆；由鑽探資料顯示，山腳斷層造成台北盆地的第三紀基盤有陷落現象（劉桓吉等，2000、2002；林朝宗，2001、2005；蘇泰維等，2003），此陷落現象與正斷層作用向北延伸至大屯山區（陳肇夏、吳永助，1971）與金山地區（盧詩丁等，2004；詹瑜璋等，2005），因此斷層可能由新莊向北延伸至金山地區。山腳斷層的最近一次活動時間，可能在距今約11,000年以前。

南崁斷層，可能為正移斷層，呈北北西走向，由桃園縣蘆竹至台北縣鶯歌（花井重次，1930）。依據鑽探資料，線形兩側地下的大南灣層為水平層態且相當連續；細部地形分析結果，林口台地與桃園台地間的沖積扇並沒有被截切現象（詹瑜璋等，2006）；震測結果顯示桃園台地地下岩層，呈水平層態一直延伸至林口台地（石瑞銓等，1999），因此兩台地之間的線形崖（Ku, 1963）可能不是斷層崖。南崁斷層尚未發現斷層存在的地質證據。

湖口斷層，為逆移斷層，呈東北東走向，由新竹縣湖口向東延伸至桃園縣平鎮（花井重次，1930）。根據野外地形地質調查與地質鑽探結果（衣德成等，2004），湖口斷層可能是在向斜軸部形成的逆移斷層，截切更新世晚期的地層，但尚未發現其出露地表的證據，研判屬於盲斷層，或被近期沖積層所掩覆。由湖口台地面的傾動與定年結果（陳于高，2006），斷層可能在距今70,000年內曾經活動過。

大平地斷層，為逆移斷層，約呈北北東走向，由桃園縣石門向南延伸經新竹縣關西至頭前溪北岸（Tang, 1964）。由野外地質與地質鑽探結果，大平地斷層在桃園縣石門至新竹縣關西之間，為大茅埔礫岩與店子湖層所掩覆（林燕慧等，2004a）；可能是軟橋斷層（中國石油公司，1974）的分支斷層，為盲斷層的形式。在新竹縣關西至橫山之間，斷層跡兩側出露完整的連續剖面，未有大斷距的斷層，研判斷層在該處併入軟橋斷層。頭前溪北岸九讚頭一帶，由於有地層缺失，可能存在斷距相當大的斷層。大平地斷層尚未發現更新世晚期地層被錯移的證據。大平地斷層的南段原稱為北埔斷層（中國石油公司，1974），由頭前溪延伸至峨眉溪之間，與大平地斷層之間的關係目前尚不清楚，依據先著權律應回復原有名稱；北埔斷層跡沿線的紅土化階地，並未發現變動或受斷層截切等現象，顯示斷層在更新世晚期的階地形成後沒有活動跡象。



圖一 臺灣活動斷層分布圖。

新竹斷層，為逆移斷層兼具右移性質，約呈東西走向，由新竹市西方向東延伸至頭前溪南岸（Meng, 1965）。新竹斷層的證據大多為地下地質及地球物理資料，雖然具有地形特徵，但還缺乏地表地質的證據，可能為盲斷層的形式。由大地測量結果顯示近期斷層兩側具有右移趨勢（林啟文等，2005；饒瑞鈞等，2006）。

新城斷層，為逆移斷層（鳥居敬造、吉田要，1931），可以分為2段：北段呈東北東走向，由新竹縣芎林鄉頭前溪向東延伸至關西南方；南段呈東北走向，由新竹縣竹東鎮頭前溪附近向南延伸至苗栗縣頭份東北方。新城斷層截切頭前溪南岸的紅土化與河階，愈老的階面斷層兩側崖差愈大，指示斷層的多次活動結果（石同生等，2003）。近期的GPS觀測資料分析結果，新城斷層兩側仍為壓縮作用的逆移形式（林啟文等，2005；饒瑞鈞等，2006）。新城斷層截切時代約270年的階地礫石層（陳文山等，2003a），為全新世仍有活動紀錄的斷層。

竹東斷層，為逆移斷層，呈東北走向，由新竹縣竹東鎮向南延伸至峨眉鄉小北埔（Tang, 1968）。竹東斷層為沿著竹東向斜軸部發育的斷層；竹東向斜為一西北翼緩而東南翼陡的褶皺，兩翼上覆的紅土化階地面均向斜軸傾斜，顯示竹東向斜在更新世晚期仍持續作用（林啟文等，2003a）；但竹東斷層尚未發現更新世晚期以來曾經活動的證據。

斗煥坪斷層，為逆移斷層兼具右移性質，呈東西走向，由苗栗縣頭份鎮斗煥坪向東延伸至新竹縣北埔的社寮坑（Tang, 1968）。斗煥坪斷層的東段形成一直線谷，西段則為階地堆積所掩覆。斷層北側階面雖有傾斜現象，但未有明顯的斷層露頭（林啟文等，2003a），也未發現截切更新世晚期地層的證據。

此外，金山斷層（市川雄一，1931），原列為存疑性活動斷層（張徽正等，1998；林啟文等，2000c），斷層的初次活動可能在大屯火山群噴發之前，也就是上新世晚期。新莊斷層（Wu, 1965）發育於金山斷層的下盤，可能是後者的分支斷層（林朝宗，2005），由於斷層截切林口層，可能是金山斷層與新莊斷層最晚的活動紀錄，時間約在距今40~50萬年前（莊文星、陳汝勤，1989）。之後，山腳斷層的正移斷層作用開始後，金山斷層可能未再有活動跡象。雙連坡斷層（花井重次，1930），原列為存疑性活動斷層，斷層跡沿線具有明顯地勢高差的線狀崖特徵，但分布於線形兩側的礫石層，在近地表約8公尺內均無錯動跡象，地下岩層連續分布於斷層兩側，地球物理探勘結

果也顯示線形兩側岩層相當連續（石瑞銓等，1999），並沒有斷層存在的跡象。

臺灣北部的活動斷層的主要特性如表一。

表一 臺灣北部活動斷層主要特性一覽表。

斷層名稱	長度 (公里)	滑移特性 * ¹	水平速度變化 (公厘/年) * ²		垂直速度變化 * ³ (公厘/年)	長期滑移速率 (公厘/年)		最近一次活動 時間* ⁴
			平行斷層	垂直斷層		水平方向	垂直方向	
山腳斷層								
(北段)	21	正移	1.3±4.6	2.9±7.4	-2.2	-	-	>11,000 年
(南段)	13	正移	4.2±6.2	1.0±8.6	-10.8	-	-1.8	
南崁斷層	14	正移	2.6±4.3	1.1±4.1	-	-	-	—
湖口斷層	21	逆移	-1.4±2.7	5.4±3.7	-2.1	-	-	<70,000 年
大平地斷層	25	逆移	0.7±2.1	1.2±2.5	3.7	-	-	更新世晚期
新竹斷層	9	逆移兼右移	-2.4±2.1	3.1±2.2	-2.3	-	-	更新世晚期
新城斷層	28	逆移	-0.7±2.2	1.5±2.0	-7.8	1.1	0.7~1.0	<300 年
竹東斷層	9	右移	0.7±2.1	1.2±2.5	-	-	-	更新世中晚期
斗煥坪斷層	10	逆移兼右移	0.7±2.1	1.2±2.5	-17.8	-	-	更新世中晚期

*1：為斷層兩側岩層的長期相對運動形式。

*2：平行斷層走向的速度分量，正值代表左移形式，負值代表右移形式。

*3：正值代表相對斷層下盤抬升，負值代表下降。

*4：除了歷史地震紀錄之外，本項資料為被斷層截切的岩層時代。

臺灣中部的活動斷層

臺灣中部的活動斷層，包括獅潭斷層、三義斷層、大甲斷層、鐵砧山斷層、屯子腳斷層、彰化斷層、車籠埔斷層與大茅埔—雙冬斷層等，共8條斷層（圖一）。

獅潭斷層，為逆移斷層，呈北北東走向，由苗栗縣獅潭鄉竹木村向北延伸至三灣鄉大河村上十股（大江二郎，1936）；本斷層也稱紙湖地震斷層（大塚彌之助，1936）。獅潭斷層為1935年新竹—台中地震形成的地震斷層，現在仍然保存有斷層崖等地形特徵（黃文正等，1999），斷層有多次活動的現象（潘國樑等，1983；潘國樑，1985）。神卓山斷層，位在獅潭斷層東方的象山至大窩山稜線，為斷續出現的裂縫與小型斷層所組成，長約5公里；

野外未發現有斷層證據，可能僅是1935年新竹－台中地震造成的局部地表破裂。

三義斷層，為逆移斷層（張麗旭，1951；Meng, 1963），可以分為2段：北段略呈東西走向，由苗栗縣大湖鄉大窩，向西延伸至三義；南段呈南北走向，由三義向南延伸至大甲溪北岸。最近在大安溪南岸的調查結果顯示，三義斷層截切低位河階面（劉彥求、李奕亨，2006），斷層可能在全新世有活動現象。

大甲斷層，為逆移斷層（Ku, 1963），呈北北東走向，由苗栗縣通霄附近經大甲、清水、沙鹿至臺中縣大肚；斷層的南段，由甲南至大肚的部分，以往稱為清水斷層（林朝榮，1957）。大甲斷層的前緣可能接近地表，或由新期沖積層所掩覆；大地測量結果顯示，斷層在近期仍以壓縮作用的逆移形式為主。

鐵砧山斷層，為逆移斷層（Sun, 1965），呈北北東走向，由鐵砧山北緣向南延伸至臺中縣沙鹿後併入大甲斷層；本斷層也稱為大甲東斷層（林朝榮，1957）。鐵砧山斷層是在頭料山層最晚期沉積後才形成，為鐵砧山背斜軸部附近的斷裂作用所形成，可能是大甲斷層的分支斷層。

屯子腳斷層，為右移斷層（大江二郎，1936；大塚彌之助，1936），呈北北東走向，由台中縣泰安向西延伸經內埔（屯子腳）至清泉崗。屯子腳斷層為1935年台中－新竹大地震造成的地表破裂；地球物理探勘結果顯示淺部斷層帶的寬度約數百公尺，呈現壓縮型開花狀構造（董倫道等，2005）；斷層可能是在紅土礫石層堆積之後僅有的1次活動紀錄。

彰化斷層，為逆移斷層（林朝榮，1957；Chang, 1971），約呈北北東轉南北走向，由彰化縣和美鎮的大肚溪南岸向南延伸至田中附近的濁水溪北岸。斷層北段在彰化市至花壇之間可能已延伸至地表，但為沖積層或山麓堆積物所掩覆（陳勉銘等，2003）；在花壇至田中之間，斷層可能尚未出露地表，並以垂直的抬升作用為主；斷層可能截切更新世晚期地層。

車籠埔斷層，為逆移斷層（Chang, 1971），以烏溪為界分為2段：北段約呈南北走向，由台中縣石岡鄉向南延伸至霧峰，本段在1999年集集地震時，石岡以東至苗栗縣卓蘭間有地表破裂（李元希等，2000）；南段約呈南北走向，由南投縣草屯向南延伸至竹山（經濟部中央地質調查所，1999）。車籠埔斷層在集集地震時所造成的地表破裂，在地表上顯現寬廣的斷層帶（林啟文等，2000b；黃文正等，2000），而斷層崖、單斜崖與撓曲崖等構造

是由主斷層的分支斷層在地表所顯現的特徵 (Lin *et al.*, 2002; 林啓文等, 2003b)。由古地震研究結果顯示 (陳文山等, 2006), 過去3,000年以來車籠埔斷層共有7次地震事件造成地表破裂, 地震的發生時距最小約200年, 最長約1,200年; 車籠埔斷層的發震模式, 屬於時間可預測的再發性模式 (陳文山等, 2006; Chen *et al.*, 2007), 推估下次可能的地震時間, 約西元2340±95年。

大茅埔－雙冬斷層, 為逆移斷層, 以大甲溪為界分為2段 (大江二郎, 1939; 何春蓀, 1959): 北段稱為大茅埔斷層, 呈北東走向, 由台中縣卓蘭鎮雙崎, 向西南延伸至東勢鎮慶東里 (大茅埔); 南段稱為雙冬斷層, 呈北東走向, 由大甲溪南岸新社鄉新六村向南延伸至南投縣雙冬。大茅埔－雙冬斷層在集集地震當時有地表破裂現象 (黃鑑水等, 2000), 在地震後也有明顯的抬升現象 (饒瑞鈞等, 2006), 顯示斷層有再活動的趨勢。

臺灣中部的活動斷層的主要特性如表二。

表二 臺灣中部活動斷層主要特性一覽表。

斷層名稱	長度 (公里)	滑移特性 * ¹	水平速度變化 (公厘/年) * ²		垂直速度變化 * ³ (公厘/年)	長期滑移速率 (公厘/年)		最近一次活動 時間* ⁴
			平行斷層	垂直斷層		水平方向	垂直方向	
獅潭斷層	12	逆移	1.4±1.8	1.8±2.3	-	-	-	西元 1935 年
三義斷層	24	逆移	-0.2	0.7	-0.1	-	-	全新世(?)
大甲斷層								
(北段)	7	逆移	1.2±2.5	3.9±1.1	-2.0	-	-	更新世晚期
(南段)	16	逆移	0.6±2.2	0.5±1.1	3.1	-	-	
鐵砧山斷層	15	逆移	1.2±2.5	1.2±2.5	0.4	-	-	更新世晚期
屯子腳斷層	14	右移	-3.2	1.5	0.1	-	-	西元 1935 年
彰化斷層	32	逆移	-2.0±3.0	3.4±2.8	6.3	-	-	<29,230(?)
車籠埔斷層								
(北段)	43	逆移	4.2±2.9	3.3±4.2	4.1	8.5	5	西元 1999 年
(南段)	38	逆移	6.0	7.6	3.9	4.5	3.4	
大茅埔－ 雙冬斷層	55	逆移	-3.0	4.2	4.1	-	-	西元 1999 年

*註：如表一說明。

臺灣西南部的活動斷層

臺灣西南部的活動斷層，包括九芎坑斷層、梅山斷層、大尖山斷層、木屐寮斷層、六甲斷層、觸口斷層、新化斷層、後甲里斷層與左鎮斷層等，共9條斷層（圖一）。

九芎坑斷層，為逆移斷層，約呈北北東走向，由雲林縣古坑向南延伸至嘉義縣竹崎附近（中國石油公司，1986）。九芎坑斷層在石牛溪剖面的斷層帶寬度約850公尺，由數條分支斷層所構成（劉彥求等，2003），向南延伸斷層帶的寬度則逐漸減小。斷層截切年代約距今18,540年前的階地礫石層，而最後一次的活動時間可能更年輕（陳文山等，2003c）。由大地測量的結果，九芎坑斷層具有相當的活動潛勢，而近期的運動方式為逆移形式。

梅山斷層，為右移斷層，呈東北東走向，由嘉義縣梅山鄉梅南村向西延伸至民雄鄉東湖村。1906年梅山地震（規模7.1）所造成的地震斷層，當時的地表破裂稱為梅仔坑斷層與陳厝寮斷層（Omori, 1907a, b），在斷層的東段目前仍保留許多地形特徵，在近地表處呈現帶狀的分佈，主斷層呈現高角度向南傾斜，地表下所構成的破裂帶寬度可達450公尺（石瑞銓等，2002；彭秋紋等，2004）；在中坑以西，斷層可能以潛伏方式持續向西延伸；梅山斷層可能有多次的活動紀錄（陳文山等，2003b）。

大尖山斷層，以內磅斷層（又稱樟湖山斷層或古坑斷層）為界分為2段（中國石油公司，1986）。北段約呈東北走向，由南投縣竹山鎮嶺腳附近向西南延伸至桶頭南方的樟湖山，本段在1999年集集地震時有活動（林啟文等，2000b），為逆移斷層兼具右移性質，在地表構成一寬廣的斷層帶（劉彥求等，2004）。南段由樟湖山附近延伸至嘉義縣竹崎鄉的金獅寮，為逆移斷層。大尖山斷層北端在竹山鎮嶺腳附近與鹿寮斷層連接（林啟文等，2000b），其南端在金獅寮附近與水社寮斷層、觸口斷層連接。由地殼變形的監測結果，大尖山斷層兩側仍有明顯的速度場變化。

木屐寮斷層，為逆移斷層，呈北北東走向，由台南縣白河鎮崎內里，向南延伸至六重溪北岸崁頭里（Sun, 1970）。木屐寮斷層造成更新世晚期地層受到傾動（楊貴三等，1986；沈淑敏等，2005），但地表尚未發現斷層露頭，可能為盲斷層；在地下淺部可能有分支斷層（石瑞銓等，1998）；由大地測量資料顯示，斷層兩側近期有明顯的壓縮量（饒瑞鈞等，2006）。

六甲斷層，為逆移斷層，呈北北東轉南北走向，由台南縣白河鎮崁頭

里的六重溪南岸向南延伸至台南縣官田鄉社子村（石再添等，1986）。六甲斷層可能是沿著向斜軸部發育的逆移斷層（林啓文等，2000a），斷層可能尚未穿出地表；斷層在地下淺部可能截切全新世地層（楊志成等，2005）。由大地測量結果，六甲斷層上下盤仍有明顯的壓縮量，並兼具右移分量（饒瑞鈞等，2006）。

觸口斷層，依地質特性分為2段：北段呈南北走向，由嘉義縣竹崎鄉金獅村向南延伸至番路鄉觸口村；南段約呈北北東走向，由觸口村向南延伸至台南縣白河鎮關嶺里（吉田要，1931）。觸口斷層的斷層帶寬度超過100公尺，斷層帶內有許多滑動面（李明書等，2004）。根據地殼變形監測結果，觸口斷層兩側有顯著的位移變化量。觸口斷層的南端在關子嶺附近與崙後斷層連接。崙後斷層（中國石油公司，1986），又稱烏山頭斷層，為逆移斷層，呈東北走向，由嘉義觸口東方向西南延伸至台南縣左鎮鄉榮和村，長約48公里。崙後斷層並未發現截切更新世晚期地層的證據；近期的大地測量結果顯示，斷層兩側的水平速度差約20公厘/年，因此仍有明顯壓縮作用，但斷層可能以非震性的潛移方式活動（饒瑞鈞等，2006）。

新化斷層，為右移斷層，呈東北東走向，由台南縣新化鎮那菝里向西延伸至北勢里（張麗旭等，1947）。新化斷層有多次古地震事件，除最近的1946年地震之外，前一次約發生於700年至1,200年前之間，而在2,000年前至7,000前至少有一次古地震事件，估計7000年內至少有3次地震事件（陳文山等，2004a）；斷層近期的活動以潛移作用為主（盧詩丁等，2003）。

後甲里斷層，為逆移斷層，約呈南北走向，由台南縣永康市向南延伸至仁德鄉虎山（林朝榮，1957；Sun, 1964）。依據地質鑽探結果，斷層面向西傾斜（林燕慧等，2004b），斷層截切更新世晚期地層，並造成全新世台南層的褶皺（陳文山等，2006），但尚未發現穿出地表的證據；依據大地測量結果，台南台地顯著的抬升速率，可能與後甲里斷層有關（饒瑞鈞等，2003，2006）。

左鎮斷層，為左移斷層，約呈西北走向，由台南縣山上鄉新庄附近至南化鄉心仔寮附近（Wang, 1976）。目前仍未發現左鎮斷層截切更新世晚期地層的證據（林啓文等，2000a）。

臺灣西南部的活動斷層的主要特性如表三。

表三 臺灣西南部活動斷層主要特性一覽表。

斷層名稱	長度 (公里)	滑移特性 * ¹	水平速度變化 (公厘/年) * ²		垂直速度變化 * ³ (公厘/年)	長期滑移速率 (公厘/年)		最近一次活動 時間* ⁴
			平行斷層	垂直斷層		水平方向	垂直方向	
九芎坑斷層	17	逆移	0.4±1.8	0.2±5.2	-15.3	-	-	<18,540 年
梅山斷層	13	右移	-0.3±2.8	0.3±2.6	-0.8	-	-	西元 1906 年
大尖山斷層	25	逆移兼右移	6.0±4.8	0.3±4.2	-11.6	-	-	西元 1999 年
木屐寮斷層	7	逆移	-1.8±3.8	2.4±3.2	-	-	-	更新世晚期
六甲斷層	17	逆移	-1.8±3.8	2.4±3.2	0.3	11.0~12.7	5.5~6.3	<10,000 年
觸口斷層	68	逆移	-2.2±3.1	8.8±2.9	3.1	14.0	-	<10,000 年
新化斷層	6	右移	-9.7±4.7	0.4±3.9	-5.0	-	-	西元 1946 年
後甲里斷層	12	逆移	-4.3±3.1	7.3±4.0	7.9	-	4.0	更新世晚期
左鎮斷層	10	左移	1.3±8.4	6.9±8.4	-	-	-	更新世中晚期

*註：如表一說明。

臺灣南部的活動斷層

臺灣南部的活動斷層，包括小崗山斷層、旗山斷層、六龜斷層、潮州斷層、鳳山斷層、恆春斷層等共6條斷層（圖一）。

小崗山斷層，可能為逆移斷層（Sun, 1964），呈北北東走向，由高雄縣阿蓮鄉南運向南延伸至燕巢鄉瓊林村。小崗山斷層有地形崖特徵，但尚未有地質證據顯示斷層存在。

旗山斷層，為逆移斷層，呈東北走向，由高雄縣旗山鎮附近向南延伸至高雄縣鳥松鄉澄清湖附近，長約35公里（吉田要，1932；鳥居敬造，1933）。以往認為斷層向北連接內英斷層（飯塚保五郎，1928），最近的調查結果顯示兩斷層的特性不同（陳文山等，2005）。旗山斷層近期的大地測量結果，仍有明顯的壓縮量，顯現逆移形式的特性，但有右移分量（Hu *et al.*, 2006；饒瑞鈞等，2006）；旗山斷層截切全新世的砂礫石層（陳文山等，2005b），顯示斷層在全新世有活動現象。

六龜斷層，為左移斷層兼具逆移性質，呈北北東走向，由高雄縣六龜鄉新發村向南延伸至美濃鎮新寮村（鳥居敬造，1933）。六龜斷層截切六龜礫岩與更年輕的礫岩層（陳文山等，2005），在更新世晚期仍有活動。

潮州斷層，為逆移斷層兼具左移性質，呈南北走向。斷層可以分為2段：北段由高雄縣六龜鄉寶來村向南延伸至大津村，又稱土壟灣斷層（烏居敬造，1933），或老濃溪斷層（何春蓀，1975）；南段由大津村向南延伸至屏東縣枋寮鄉加祿村（Tomita, 1955）。潮州斷層由北至南均為階地礫岩層或沖積扇礫石層所掩覆，可能為盲斷層的形式，斷層在近地表處造成沖積扇礫石層的撓曲（陳文山等，2004b），指示斷層在更新世晚期可能有活動。

鳳山斷層，可能為逆移斷層，呈北北西轉南南東走向，由高雄縣鳳山市竹子腳向南延伸至林園鄉拷潭附近（Sun, 1964）。鳳山斷層有地形崖特徵（石再添等，1984；沈淑敏等，2006），但尚未有地質證據顯示斷層存在。

恆春斷層，為逆移斷層，呈北北西走向，由屏東縣車城鄉海口向南延伸至恆春鎮南灣（詹新甫，1974）。恆春西台地北段相對於恆春半島的抬升速率大於10公厘/年，顯示恆春西台地仍持續傾斜；在恆春半島西側海域中可能存在一逆移斷層，造成恆春西台地的傾斜與恆春谷地的相對沉陷（陳文山等，2004b）。由近期的大地測量資料顯示，恆春斷層兩側位移量並未有明顯差異（陳建良等，2005），而斷層兩側在過去10年的位移型態並未有明顯變化。恆春斷層尚未有截切更新世晚期地層的證據。

臺灣南部的活動斷層的主要特性如表四。

表四 臺灣南部活動斷層主要特性一覽表。

斷層名稱	長度 (公里)	滑移特性 * ¹	水平速度變化 (公厘/年) * ²		垂直速度 變化* ³ (公厘/年)	長期滑移速率 (公厘/年)		最近一次活動 時間* ⁴
			平行斷 層走向	垂直斷層走向		水平方向	垂直方向	
小崗山斷層	8	逆移	-4.4±3.0	8.3±4.5	-	-	-	更新世中晚期
旗山斷層	35	逆移	-4.5±6.5	5.5±8.0	-3.6	-	-	<7,189 年
六龜斷層	18	左移	-	-	-	-	-	更新世晚期
潮州斷層	85	逆移	1.2±2.1	0.5±1.8	-3.6	-	-	更新世中晚期
鳳山斷層	11	逆移	4.2±3.7	2.1±6.4	-	-	-	更新世中晚期
恆春斷層	16	逆移	3.5±4.6	5.3±3.9	1.0	-	7.5	更新世中晚期

*註：如表一說明。

臺灣東部的活動斷層

臺灣東部的活動斷層與存疑性活動斷層，包括米崙斷層、瑞穗斷層、玉里斷層、池上斷層、奇美斷層、鹿野斷層、利吉斷層等，共7條斷層（圖一）。

米崙斷層，為左移斷層兼具逆移性質，約呈南北走向，由花蓮縣七星潭海岸向南延伸至花蓮市美崙山西南側（Hsu, 1956），本斷層又稱花蓮斷層（林朝榮，1962）；斷層可能包括民意斷層（楊貴三，1986）與北埔地區的斷層等分支斷層。米崙台地的長期抬升速率約4.5公厘/年、向北水平位移速率約 8.5 ± 3.0 公厘/年，這些變動量可能與米崙斷層的活動有關（鍾令和等，2004a）。

瑞穗斷層（陳文山等，2006），以往稱為玉里斷層的北段（徐鐵良，1955），為逆移斷層兼具左移性質，呈東北走向，由光復鄉大富村向南延伸至瑞穗鄉瑞美村；斷層向南可能連接玉里斷層。瑞穗斷層除了1951年11月25日的地震以外，還有3次古地震事件，古地震的活動週期約 190 ± 20 年。

玉里斷層，為逆移斷層兼具左移性質，呈北北東走向，由花蓮縣瑞穗鄉瑞良村向南延伸至玉里鎮樂合里（徐鐵良，1955），是1951年11月25日地震的地震斷層。在春日、福音、麻汝至觀音等地的斷層跡附近，階地有拱起或反傾現象，在鍋蓋樑等一系列平行縱谷走向小丘（鍾令和等，2004b），開挖結果顯示有壓力脊、褶皺與破裂等現象（陳文山等，2004b）；斷層可能有潛移現象。而瑞穗至玉里之間，除了1951年地震造成的斷續地表破裂之外，沒有明顯的斷層露頭。

池上斷層，為逆移斷層兼具左移性質，約呈北北東走向（Hsu, 1956）；北段由花蓮縣富里鄉東里村向南延伸至台東縣池上鄉萬安附近。南段由池上鄉萬安向南至鹿野鄉瑞隆村（劉彥求、林啟文，2005）。池上斷層除了1951年地震造成的地表破裂外，另外1992年5月29日與2003年12月10日兩次地震所造成的地表破裂現象，可能與斷層活動有關。池上斷層在過去約1000年以來，至少有3次的古地震事件（陳文山等，2006），每次事件造成的垂直移距約數十公分，最大位移量約60公分；斷層近期可能以潛移變形為主。

奇美斷層，為逆移斷層兼具逆移性質，呈東北走向，由玉里鎮東方樂合溪溪口向東北延伸，經德武、奇美村至花蓮縣豐濱（Hsu, 1956）。奇美斷層截切更新世晚期的階地礫石層，尚未有全新世曾經活動的證據（楊志成

等，2006)。

鹿野斷層，為逆移斷層，約呈南北走向，由台東縣鹿野鄉鹿寮向南延伸至卑南鄉檳榔附近（林朝榮，1957；石再添等，1983）。鹿野斷層位於卑南山礫岩與板岩層的接觸帶，可能呈向東傾斜，為板塊縫合帶的西界，但斷層的前端並未穿出地表（林啓文等，2004）；斷層在卑南山礫岩沉積時可能停止活動一段時間；鹿野龍田階地面的錯移與撓曲崖特徵，指示在階地形成後有活動現象（紀權資，2007）。

利吉斷層，為逆移斷層，東北走向轉南南東走向，由台東縣卑南鄉利吉村北方向南延伸，至台東市北方（Hsu, 1956）。本斷層包括位於其東側的分支斷層－卑南山斷層（Hsu, 1956；游明聖，1997）。卑南山斷層與利吉斷層均是發育於所謂「利吉層」內的斷層，利吉層可視為一個構造單位，卑南山斷層可以視為近期活動的西界，而利吉斷層為東界（林啓文等，2004）。利吉斷層有截切全新世地層的證據（紀權資，2007），而卑南山斷層近期未有活動跡象。

此外，月眉斷層（石再添等，1983）是一些斷續存在的地形崖與一些小斷層的總稱，這些小型斷層大多位於都巒山層中（鍾令和等，2004b）；而縱谷地區並無明顯斷層地形特徵，這些小型斷層與地形崖並未連成一條斷層。

臺灣東部的活動斷層的主要特性如表五。

表五 臺灣東部活動斷層主要特性一覽表。

斷層名稱	長度 (公里)	滑移特性 * ¹	水平速度變化 (公厘/年) * ²		垂直速度變化 * ³ (公厘/年)	長期滑移速率 (公厘/年)		最近一次活 動時間* ⁴
			平行斷層	垂直斷層		水平方向	垂直方向	
米崙斷層	8	左移兼逆移	8.6±5.7	7.2±6.3	8.9±18.3	-	4.4	1951年
玉里斷層	26	左移兼逆移	18.0±4.5	5.1±5.8	-0.8	-	-	1951年
瑞穗斷層	13	逆移兼左移	※	※	※	-	7.0	1951年
池上斷層	44	左移兼逆移	※	※	※	-	8.3	1951年
奇美斷層	30	逆移	13.0±2.8	1.0±9.1	3.9	-	-	更新世晚期
鹿野斷層	24	逆移	※	※	※	-	-	更新世晚期
利吉斷層	13	逆移	※	※	※	-	-	更新世晚期

*註：如表一說明。

※：建議參考Yu and Kuo (2001)及Lee *et al.* (2003)。

討論

一、確認斷層

在中央地質調查所的活動斷層分類中（林啟文等，2000c），「存疑性活動斷層」的一種情形是對斷層的存在不確定者。斷層，是地質學上常用的術語，它是指在岩石、岩體或地殼中的一條破裂面，沿著此破裂面的兩側有相對的位移（參考Glossary of Geology：Neuendorf *et al.*, 2005，以及The Encyclopedia of Structural Geology and Plate Tectonics：Seyfert, 1987）；依據這樣的定義，要說明一條斷層必須包括：（1）斷層兩側的岩石、岩體（或地層）；（2）斷層面的位態（走向、傾斜）；（3）斷層的滑距或移距；（4）斷層面或斷層帶的寬度，這些都是確認斷層的必要條件。

利用地形特徵來確認活動斷層是最簡便的方式（Keller and Printer, 1996；Burbank and Anderson, 2001），最常用的是線形（lineament），但也較具爭議，原因是很多的地形特徵並不是斷層。線形，是指在航空照片或遙測衛星影像上所見到的直線狀的地形特徵；要確認線狀特徵是否為線狀構造，必須作地面檢驗（ground-checking；Davis, 1984）；換言之，必須符合是否為斷層。由於早期缺乏地質調查資料，很多的地形特徵被當作斷層，例如將地形崖或線狀崖直接稱為斷層崖，而未檢驗其是否為斷層。雖然地形是地質現象的外在指標，也提供野外地質工作重要資訊，但某些線形在後續的調查中，被證明不是斷層，例如新社斷層、楊梅北斷層與雙連坡斷層。此外，在平原與丘陵地區，常用地球物理探勘來探測斷層的存在與否，這些探測所得的資料是訊號，再利用岩石或岩層特有的物理性質（如傳波速度），來解釋這些訊號所代表的意義，而訊號不連續常常被解釋有斷層；訊號不連續可能有很多原因，探勘工作者必須提供精確度（precision）、誤差，以及各種岩層的參數供使用者檢驗；也需要在後續的運用以前，以鑽探調查來作地質檢驗。因此，在活動斷層的調查中，在確認是否「活動」之前，必須先確認是否為「斷層」。目前還未能確認斷層是否存在者，還包括南崁斷層、小崗山斷層與鳳山斷層，未來需要進一步釐清。

二、確認活動斷層

「存疑性活動斷層」的另一種情形，是對斷層的活動時代不確定者。在有關活動斷層的定義中，雖然各國並沒有一致性結論，但至少重點都包含一個近期錯動的時間基準（例如International Atomic Energy Agency, 1972；

U.S. Atomic Energy Commission, 1973；Allen, 1975；Bonilla, 1975；日本活斷層研究會，1980）；一般是依據使用者的運用目的與所規範的對象而定，其中的差異在於斷層最後一次的活動時間不同，原因是各國所處的地體構造環境、遭遇自然災害的程度有所差異。依據臺灣的地體構造環境，中央地質調查所將活動斷層定義為：更新世晚期以來曾活動過，未來可能再度活動的斷層（張徽正等，1998；林啓文等，2000c）。爲了不同使用者的需求，依據斷層最近一次的活動時代，將活動斷層再分爲：第一類活動斷層，包括全新世以來曾經發生錯移的斷層、與地震相伴發生的斷層（地震斷層）、錯移現代沖積層的斷層、地形監測證實具潛移活動性的斷層；以及第二類活動斷層，包括更新世晚期以來曾經發生錯移的斷層，以及錯移階地堆積物或台地堆積層的斷層。

在地質上，全新世是指現在的地質時代，訂定的基準是一顯著氣候變暖的時間，也就是現在的這個間冰期（interglacial period）的開始時代，時間約距今11,500年以前至現在（Gradstein *et al.*, 2004）；更新世晚期（Late Pleistocene），是指最後一次冰期的時間（final glacial period），時間約距今12,6000年至11,500年以前，但是在活動斷層的分類中，第一類活動斷層的基準仍使用距今約10,000年前，第二類活動斷層的基準是使用距今約100,000年至10,000年以前。由於要瞭解斷層最近一次的活動時間，取決於地質材料的定年資料，以臺灣地區快速的沉積速率與侵蝕速率，某些沉積物很難得到定年材料，因此必須仰賴熱螢光與光螢光等定年技術（例如陳于高，2006）。此外，斷層是在岩層沉積後才活動，有些更早沉積的岩層是後來才有斷層作用，因此許多地質工作者（例如Bonilla, 1975；Hsu and Chang, 1979）將錯移第四紀（距今1,806,000年前以來）地層的斷層就列入活動斷層；未來若有更多的定年資料而能將第四紀的時代地層作細分時，建議將錯移中部更新統（距今781,000年前以來沉積的地層）的斷層列入活動斷層。

三、短期滑移速率

「存疑性活動斷層」的另一種情形，是對斷層的再活動性存疑者。在各國的活動斷層定義中，除了近期錯動的時間基準以外，均強調斷層未來再活動的可能性。由於這是科學預測的範疇，一般是現有資料整理歸納後，再以模式、理論來推演未來是否具活動潛勢。

以全球定位系統進行地殼變形的量測，可以提供地震與斷層活動資料的不足（Segall and Davis, 1997），因爲它可以記錄全部的地震循環，包括

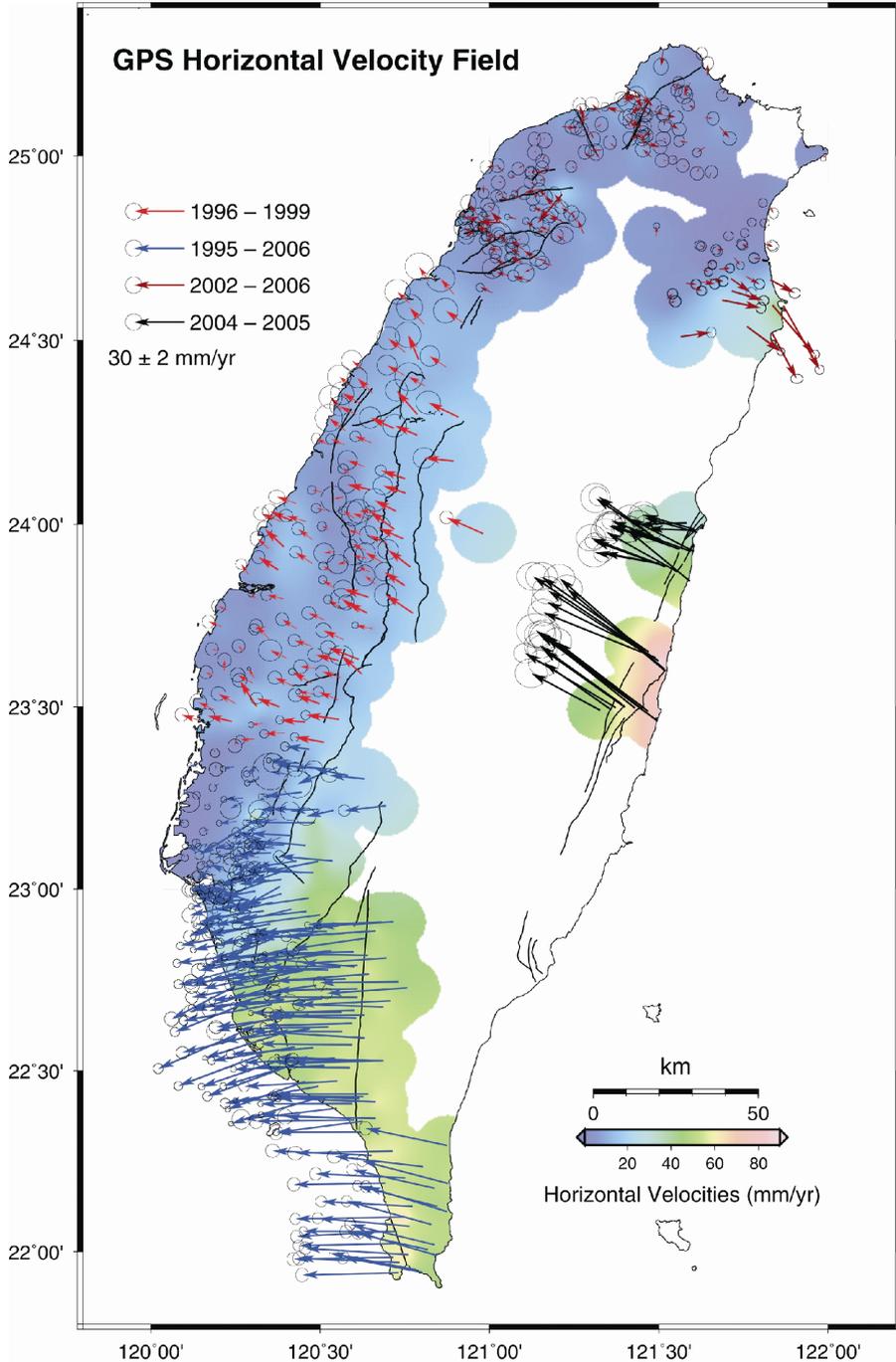
震間、震後的作用與同震變形。偵測震間緩慢的應變累積量，在某些地區是用來確認未來發生斷層活動的最好方法，因為在地震發生前通常累積足夠的彈性應變能，靠近斷層的地表面會有變形現象，而地殼變形研究可以觀察地球表面任兩點之間的相對位移、地面傾斜、地面應變及斷層滑移。斷層作用時的摩擦性滑動，分為黏滑作用（stick-slip）與蠕滑作用（stable sliding）兩種。當斷盤克服摩擦力產生滑動時，若瞬間應力下降，會造成非常快速的滑動，之後，有一段較長時間的非滑動時期，此時應力又逐漸累積，當再度克服摩擦力，斷層再一次產生滑動，此種現象為黏滑作用；地震通常在已存在的斷層上反覆發生，黏滑作用一般認為是地震的形成機制（Brace and Byerlee, 1966；Sibson, 1989）。斷層若是蠕滑的方式，則兩側岩體所儲藏的彈性能較小，而大地震通常發生在斷層是鎖住、且相對強度較大者。衛星定位系統可以量測及紀錄地殼的非震性運動，因為即使在地震最活躍的地區，震間變形仍佔有地殼變形的主要部分。非震性變形包括彈性能的逐漸累積，然後由地震釋出，所以量測非震性應變也可以用來估計地震的再現周期及規模。

根據過去幾年中央地質調查所的GPS測量結果（圖二），臺灣地區地殼變形中最大水平位移量是在東部的縱谷地區以及高雄屏東地區，而跨斷層的水平速度位移速度變化也在這兩個區域（饒瑞鈞等，2006）。這些資料提供斷層兩側水平位移變化以外，而精密水準測量結果則提供瞭解斷層兩側的垂直位移變化，對於評估斷層活動的潛勢為重要的資訊，表一至表五列出主要斷層的短期滑移速率資料，表中某些斷層兩側的垂直速度變化因受到測量時間較短的影響，與由地層移距的計算結果並不一致，可能來自於短期的變動或測量誤差，這些仍需累計更多資料加以釐清；此外，短期滑移速率的資料也用來進行構造作用的模式分析（例如Hu *et al.*, 2006）。在更長期的觀測之後，對於瞭解地殼變形與斷層運動將更有意義。

四、長期滑移速率與再現週期

活動斷層調查最主要的目的之一，是瞭解斷層的再現週期，而古地震研究是主要方法（McCalpin, 1996）。臺灣有儀器記錄的地震僅一百多年，而大多數活動斷層的再現週期皆大於此數值，因此古地震資料可以補充大地震更長的紀錄，而對於歷史上較安靜的斷層，古地震資料可以提供震源地區的大多數資料，包括大地震的位置、發生時間、規模與再現週期，再現週期為兩次地震間的時間間距。

由於斷層的再現週期不易獲得，因此常用滑移速率來計算再現週期。



圖二 臺灣地區各測點相對於澎湖白沙站之 GPS 水平方向速度場 (饒瑞鈞等, 2006)。向量箭頭之橢圓代表 95% 可信區間之誤差橢圓。黑色線段為活動斷層位置, 點為速度內差半徑 10km。北部地區時間間距 2002~2006 年, 中部地區為 1996~1999 年, 南部地區為 1995~2006 年, 東部地區為 2004~2005 年。

通常由已定年的地形及沉積物所累積的位移來計算，可以由兩種方法來求得。第一種方法是將長期平均滑移速率、除以每一事件的滑移量，以求取平均的再現週期，此方法稱為直接方法。每一事件的滑移速率很難在初步的研究中獲得，但可以由較大的歷史地震所觀察的最大位移量或平均位移量來估計。滑移速率的計算方式為 (Wallace, 1970)： $RI=D/(S-C)$ ；其中RI為平均再現週期，D為單一斷層事件的位移量，S為同震的滑移速率，C為蠕滑的滑動速率。單一事件位移量的估計之不確定因素，一是來自古地震錯移量的野外量測值，一是來自錯移地貌或沉積物的定年誤差。第二種方法是將史前地震加以定年以瞭解斷層作用發生的時間，主要是將最年輕且已錯移的沉積物、以及最老之未錯移的沉積物定年，以儘可能侷限斷層作用的發生時間，又稱地質方法。此種方法很難確認每一事件的確切發生時間，而是得到該次地震之前及之後的年代數字；但是此種方法所得到的再現週期，對於單一斷層或地區的地震再現模式推估為重要的參數。即使是單一地震事件所造成的位移量無法確認，滑移速率也可以由已定年的地貌或沉積物的累積位移量來獲得。表一至表五列出一些斷層的長期滑移速率資料。

至目前為止，我們對活動斷層週期的瞭解，僅有車籠埔斷層與瑞穗斷層 (陳文山等, 2006)，主要的原因是臺灣的沉積與侵蝕速率較快，很多史前地震活動所造成的地表破裂並沒有保存下來，而單一地點也很少記錄所有的地震。針對這項缺點採用的是時空的替代 (ergodic hypothesis; McCalpin, 1996) – 在某種環境之下，空間中所採集的標本，可以相當經過時間的標本，所以時空轉換可以作為一種分析工具；也就是在同一斷層的不同位置收集更多的古地震事件。此外，古地震的方法僅能調查有地表變形的地震，但是很多地震斷層是以蠕滑或少量滑移的形式，並未造成瞬間錯移；所以即使是經由古地震方法所求得的再現週期，也不代表全部地震事件所計算出的結果，因此再現週期通常被低估。因此，同一條斷層更多的古地震調查與更多的定年資料，才能更準確地計算活動斷層的長期滑移速率與再現週期。

參考文獻

- 大江二郎 (1936) 大安溪地震調查報告。臺灣總督府殖產局，礦物及地質調查報告第4號。
- 大江二郎 (1939) 台中州南投油田調查報告。臺灣總督府殖產局，第866號。
- 大塚彌之助 (1936) 昭和10年4月21日臺灣中部地方發生之地震所伴生之地震斷層，附地震斷層之諸特徵。東京大學地震研究所彙報別冊，第3號，第22-74頁。
- 中國石油公司 (1974) 十萬分之一地質圖－苗栗幅。中國石油公司臺探總處。
- 中國石油公司 (1986) 十萬分之一地質圖－嘉義幅。中國石油公司臺探總處。
- 日本活斷層研究會 (1980) 日本的活斷層－分布圖與資料。東京大學出版會，共363頁。
- 市川雄一 (1931) 臺北圖幅說明書。臺灣總督府殖產局，第583號，共29頁。
- 石同生、盧詩丁、林偉雄、李元希 (2003) 新城斷層定位與斷層活動性研究。經濟部中央地質調查所特刊，第14號，第37-52頁。
- 石再添、張瑞津、黃朝恩、石慶得、楊貴三、孫林耀明 (1983) 臺灣北部與東部活斷層的地形學研究。國立臺灣師範大學地理研究所地理研究報告，第9期，第20-72頁。
- 石再添、張瑞津、鄧國雄、石慶得、楊貴三、許民陽 (1984) 臺灣西部與南部活斷層的地形學研究。國立臺灣師範大學地理研究所地理研究報告，第10期，第49-94頁。
- 石再添、鄧國雄、張瑞津、石慶得、楊貴三 (1986) 臺灣活斷層的地形學研究。師大地理研究報告，第12期，第1-44頁。
- 石瑞銓、王乾盈、謝昭輝 (1998) 雲嘉南地區活動斷層震測調查。經濟部中央地質調查所活動斷層地球物理探勘計畫87年度報告，共130頁。
- 石瑞銓、王乾盈、林正洪、顏宏元 (1999) 活動斷層地球物理探勘計畫－北部地區活動斷層地球物理探勘 (2/5)。中央地質調查所研究報告，共80頁。
- 石瑞銓、陳平護、呂明達、陳文山 (2002) 地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－淺層地球物理探勘 (1/5)，經濟部中央地質調查所91年度研究報告，共166頁。
- 衣德成、陳建良、林偉雄、林啓文 (2004) 湖口斷層調查報告。經濟部中央地質調查所，未出版報告。
- 何春蓀 (1959) 臺灣中部台中與南投間之逆衝斷層構造。臺灣省地質調查所彙刊，第11號，第13-20頁。
- 何春蓀 (1975) 臺灣地質概論，臺灣地質圖說明書。經濟部，共118頁。
- 沈淑敏、張瑞津、楊貴三 (2005) 地震地質調查及活動斷層資料庫建置－活動構造地形及資料庫建置分析 (1/2)。經濟部中央地質調查所研究報告94-6號，共80頁。
- 沈淑敏、張瑞津、楊貴三 (2006) 地震地質調查及活動斷層資料庫建置－活動構造地形及資料庫建置分析 (2/2)。經濟部中央地質調查所研究報告95-13號，共105頁。
- 吉田要 (1931) 所謂觸口山層。臺灣地學記事，第2卷，第2號，第27-29頁。
- 吉田要 (1932) 高雄州旗山南西部油田調查報告及旗山南西部油田地質圖 (三萬分之一)。臺灣總督府殖產局，第610號，共162頁。
- 李元希、吳維毓、石同生、盧詩丁、謝孟龍、張徽正 (2000) 九二一集集地震地表變形特性－埤豐橋以東。經濟部中央地質調查所特刊，第12號，第19-40頁。

- 李明書、劉彥求、林偉雄、林啟文（2004）觸口斷層調查報告。經濟部中央地質調查所，未出版報告。
- 花井重次（1930）臺灣桃園台地活斷層。地理學評論，第6卷，第7號，第778-789頁。
- 林啟文、盧詩丁、石同生、張徽正、石瑞銓（2000a）從野外觀察探討臺灣西南部四條存疑性活動斷層的存在。經濟部中央地質調查所彙刊，第13號，第77-101頁。
- 林啟文、盧詩丁、黃文正、石同生、張徽正（2000b）臺灣中部濁水溪以南地區的集集地震斷層與構造分析。經濟部中央地質調查所特刊，第12號，第89-112頁。
- 林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正（2000c）臺灣活動斷層概論，五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖說明書，第二版。經濟部中央地質調查所特刊，第13號，共122頁。
- 林啟文、陳致言、石瑞銓（2003a）臺灣北部斗煥坪與大平地斷層的野外觀察。經濟部中央地質調查所特刊，第14號，第49-60頁。
- 林啟文、石同生、石瑞銓（2003b）臺灣中部南投地區的車籠埔斷層帶特性研究。經濟部中央地質調查所彙刊，第16號，第53-72頁。
- 林啟文、石瑞銓、林燕慧（2004）台東縱谷南段的活動斷層特性研究。經濟部中央地質調查所特刊，第15號，第161-174頁。
- 林啟文、鍾瑋、侯進雄（2005）臺灣北部新城斷層與新竹斷層的一些構造特性。經濟部中央地質調查所特刊，第16號，第41-54頁。
- 林朝宗（2001）台北都會區地質環境。台北都會區地質災害研討會論文集，第1.1-1.19頁。
- 林朝宗（2005）山腳斷層與台北盆地西緣的地質構造。大台北地區火山活動與山腳斷層研討會論文集，第191-197頁。
- 林朝榮（1957）臺灣地形，臺灣省通志稿，第一卷，第一冊，臺灣文獻委員會，共424頁。
- 林朝榮（1962）花蓮地方的第四系－臺灣之第四紀研究（三）。國家長期發展科學委員會研究報告，共42頁。
- 林燕慧、衣德成、劉彥求、謝中敏、鍾令和、林偉雄、林啟文（2004a）大平地斷層調查報告。經濟部中央地質調查所，未出版報告。
- 林燕慧、劉彥求、石瑞銓、陳平護（2004b）台南台地的淺部地下構造與後甲里斷層。經濟部中央地質調查所特刊，第15號，第121-135頁。
- 紀權宥（2007）南段花東縱谷斷層之新期構造研究－利吉斷層與鹿野斷層的活動特性。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文，共84頁。
- 徐鐵良（1955）臺灣之地震。臺灣銀行季刊，第7卷，第2期，第148-164頁。
- 陳于高（2006）地震地質調查及活動斷層資料庫建置－槽溝開挖與古地震研究計畫，熱螢光與光螢光定年總報告。經濟部中央地質調查所研究報告95-7號，共57頁。
- 陳文山、劉力豪、顏一勤、楊小青、李龍昇、游能悌、張徽正、石瑞銓、陳于高、李元希、林偉雄、石同生、盧詩丁（2003a）新城斷層的古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊，第14號，第11-23頁。
- 陳文山、石瑞銓、楊小青、楊志成、葉明官、李龍昇、劉力豪、顏一勤、彭秋紋、張徽正、陳于高、李元希、林偉雄、石同生、盧詩丁（2003b）梅山斷層的構造特性與古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊，第14號，第137-146頁。
- 陳文山、楊志成、石瑞銓、楊小青、顏一勤、陳于高、張徽正、林偉雄、李元希、石同生、盧詩丁（2003c）九芎坑的斷層特性與活動性研究。經濟部中央地質調查所特刊，第14號，第113-128頁。

- 陳文山、李錫堤、石瑞銓、楊小青、楊志成、顏一勤、劉力豪、張徽正、侯進雄（2004a）新化斷層的構造特性與古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊，第15號，第111-119頁。
- 陳文山、齊士錚、陳于高、張瑞津、沈淑敏、楊貴三、游能悌、楊小青（2004b）地震地質調查及活動斷層資料庫建置—槽溝開挖與古地震研究計畫（3/5）。經濟部中央地質調查所研究報告93-6號，共82頁。
- 陳文山、陳勇全、游能悌、顏一勤、楊志成、石同生（2005a）潮州斷層沿線的地層與地形特性—重新檢討斷層的構造特性與位置。經濟部中央地質調查所特刊，第16號，第75-90頁。
- 陳文山、陳于高、楊小青（2005b）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫—槽溝開挖與古地震研究計畫(4/5)，經濟部中央地質調查所研究報告94-7號，共165頁。
- 陳文山、陳于高、楊小青（2006）地震地質調查及活動斷層資料庫建置—槽溝開挖與古地震研究計畫（5/5）與總報告。經濟部中央地質調查所研究報告95-08號，共133頁。
- 陳建良、林啓文、陳文山（2005）臺灣南部恆春半島地殼變形初步研究。經濟部中央地質調查所特刊，第16號，第55-73頁。
- 陳勉銘、陳華玫、林啓文、黃存慧（2003）彰化斷層調查報告。經濟部中央地質調查所，未出版報告。
- 陳肇夏、吳永助（1971）臺灣北部大屯地熱區之火山地質。中國地質學會會刊，第14號，第5-20頁。
- 莊文星、陳汝勤（1989）臺灣北部火山岩之定年與地球化學研究。經濟部中央地質調查所彙刊，第5號，第31-66頁。
- 烏居敬造（1933）高雄州旗山油田調查報告及旗山油田地質圖（三萬分之一）。臺灣總督府殖產局，第633號，共36頁。
- 烏居敬造、吉田要（1931）新竹州苗栗及竹東油田調查報告。臺灣總督府殖產局，第585號，共81頁。
- 飯塚保五郎（1928）臺灣油田地質概查報告—第六區油田。日本海軍省編，第115-146頁。
- 黃文正、林啓文、林燕慧、吳維毓、陳致言、劉思妤（1999）獅潭斷層與神卓山斷層調查報告。經濟部中央地質調查所，未出版報告。
- 黃文正、陳致言、劉思妤、林燕慧、林啓文、張徽正（2000）臺灣中部大甲溪至頭汴坑溪九二一集集地震地表變形模式。經濟部中央地質調查所特刊，第12號，第63-87頁。
- 黃鑑水、陳勉銘（2000）臺灣中部地區之雙冬斷層。經濟部中央地質調查所特刊，第12號，第171-182頁。
- 潘國樑（1985）利用遙測、地質與地震資料分析1935年地震斷層。1935年新竹—台中大地震五十周年紀念研討會論文集，第83-92頁。
- 潘國樑、王文能、胡國興、顏滄波（1983）臺灣中部1935年地震斷層之航照地質研究。工業技術研究院能源與礦業研究所，共44頁。
- 游明聖（1997）台東縱谷活動斷層研究。國立臺灣大學地質學研究所博士論文，共141頁。
- 張徽正、林啓文、陳勉銘、盧詩丁（1998）臺灣活動斷層概論，五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第10號，共103頁。
- 張麗旭（1951）「三叉衝上斷層」及其附近之地質構造。臺灣省地質調查所彙刊，第3號，第23-34頁。
- 張麗旭、周敏、陳培源（1947）民國35年12月5日台南之地震。臺灣省地質調查所彙刊，第1號，第11-18頁。

- 彭秋紋、石瑞銓、張徽正、林啟文、陳文山、石同生、盧詩丁（2004）梅山斷層與其淺部剪切帶構造特徵。經濟部中央地質調查所特刊，第15號，第85-98頁。
- 經濟部中央地質調查所（1999）九二一地震地質調查報告。經濟部中央地質調查所。共315頁。
- 楊志成、顏一勤、宋時驊、黃能偉、陳勇全、陳文山、陳于高、吳樂群、張徽正、侯進雄、林啟文（2005）六甲斷層近萬年來滑移速率之探討。經濟部中央地質調查所特刊，第16號，第1-16頁。
- 楊志成、顏一勤、陳文山（2006）奇美斷層活動性探討。臺灣礦業，第58卷，第1期，第1-10頁。
- 楊貴三（1986）臺灣活斷層的地形學研究－特論活斷層與地形面關係。中國文化大學地學研究所博士論文，共178頁。
- 董倫道、陳文山、李奕亨（2005）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－地球物理探勘計畫（4/5）。經濟部中央地質調查所報告第94-09號，共187頁。
- 詹新甫（1974）恆春半島之地層與構造並申論中新世傾瀉層。臺灣省地質調查所彙刊，第24號，第99-108頁。
- 詹瑜璋、李建成、鄭鼎耀、劉進金、陳文山、胡植慶、陳柔妃、徐偉城（2005）大台北地區特殊地質災害調查與監測－高精度空載雷射掃描（LIDAR）地形測製與構造地形分析（1/3）。經濟部中央地質調查所研究報告94-06號，共143頁。
- 詹瑜璋、李建成、鄭鼎耀、劉進金、陳文山、胡植慶、陳柔妃、徐偉城（2006）大台北地區特殊地質災害調查與監測－高精度空載雷射掃描（LIDAR）地形測製與構造地形分析（2/3）。經濟部中央地質調查所研究報告95-06號，共123頁。
- 劉彥求、林啟文（2005）池上斷層調查報告。經濟部中央地質調查所，未出版報告。
- 劉彥求、李奕亨（2006）三義斷層於大甲溪兩岸剖面與淺層震測結果比對分析。2006年臺灣地區地球物理學術研討會摘要集，第97頁。
- 劉彥求、林燕慧、李明書、林啟文（2003）臺灣西南部石牛溪地區九芎坑斷層的構造特性。經濟部中央地質調查所特刊，第14號，第101-112頁。
- 劉彥求、林啟文、石瑞銓、陳平護（2004）臺灣中部大尖山斷層的構造特性研究。經濟部中央地質調查所特刊，第15號，第69-83頁。
- 劉桓吉、蘇泰維、李錦發、紀宗吉、林朝宗（2000）山腳斷層之活動性及其對工程安全之影響。經濟部89年度研究發展報告，共30頁。
- 劉桓吉、蘇泰維、邱禎龍、曾俊傑、紀宗吉、林文哲、李錦發、費立沅、賴典章、林朝宗、黃健政（2002）台北盆地地下地質與工程地質研究。經濟部中央地質調查所90年年報，第59-64頁。
- 盧詩丁、石同生、李元希、林燕慧、劉彥求、黃存慧、林偉雄、林啟文（2003）新化斷層調查報告。經濟部中央地質調查所，未出版報告。
- 盧詩丁、劉彥求、衣德成、鍾令和、劉桓吉（2004）山腳斷層調查報告。經濟部中央地質調查所，未出版報告。
- 鍾令和、石同生、劉彥求、許文靈、謝中敏、吳文綜（2004a）米崙斷層調查報告。經濟部中央地質調查所，未出版報告。
- 鍾令和、石同生、劉彥求、許文靈、謝中敏、吳文綜（2004b）月眉斷層調查報告。經濟部中央地質調查所，未出版報告。
- 鍾令和、劉彥求、衣德成、林啟文、林燕慧、石同生、林偉雄（2004c）玉里斷層調查報告。經濟部中央地質調查所，未出版報告。
- 蘇泰維、劉桓吉、劉憲德、黃健政（2003）台北盆地西緣山腳斷層調查研究初步

- 成果。91年度經濟部中央地質調查所年報，第118-121頁。
- 饒瑞鈞、景國恩、謝宗訓、余致義、侯進雄、李元希、胡植慶、詹瑜璋、李建成、洪日豪（2003）台南台地的地表變形與地震潛能。經濟部中央地質調查所特刊，第14號，第147-156頁。
- 饒瑞鈞、余致義、洪日豪、胡植慶、李建成、詹瑜璋、許麗文（2006）地震地質調查及活動斷層資料庫建置－活動斷層監測系統計畫（5/5）。經濟部中央地質調查所研究報告95-10號，共241頁。
- Allen, C.R. (1975) Geological criteria for evaluating seismicity. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, v.86, 1041-1057.
- Bonilla, M.G. (1975) A review of recently active faults in Taiwan. U.S. Geological Survey Open-File Report, no.75-41, 58pp.
- Bonilla, M.G. (1977) Summary of Quaternary faulting and elevation changes in Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China*, no.2, 43-55.
- Brace, W.F. and Byerlee, J.D. (1966) Stick slip as a mechanism for earthquakes. *Science*, no.153, 990-992.
- Burbank, D.W. and Anderson, R.S. (2001) *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science, Massachusetts, 274pp.
- Chang, S.L. (1971) Subsurface geologic study of the Taichung Basin, Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.8, 21-45.
- Chen, W.S., Yang, C.C., Yen, Y.C., Lee, L.S., Lee, K.L., Yang, H.C., Chang, H.C., Lin, C.W., Lin, W.H., Shih, T.S. and Lu, S.T. (2007) Late Holocene Paleoseismicity of the southern part of the Chelungpu fault in central Taiwan: evidence from the Chushan excavation site. *Bull. Seism. Soc. Amer.* Vol. 97, no.1B, 1-13.
- Davis, G.H. (1984) *Structural Geology of Rocks and Regions*. John Wiley and Sons, New York, 492pp.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G. and Smith, A.G. (2004) *A Geological Time Scale*. Cambridge University Press.
- Hsu, T.L. (1956) Geology of the Coastal Range, eastern Taiwan. *Bull. Geol. Surv. Taiwan*, no.8, 39-64.
- Hsu, T.L. and Chang, H.C. (1979) Quaternary faulting in Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China*, no.3, 155-165.
- Hu, J.C, Hou, C.H., Sheng, L.C., Huang, C., Huang, M.H., Nien, P.F., Lin, C.W., Chan, Y.C, Chen, R.F and Rau, R.J (2006) Fault activity and lateral extrusion inferred from velocity field revealed by GPS measurement in the Pingtung area of southwestern Taiwan. *J. Asian Earth Sci.* doi: 10.1016/j.jseae.2006.07.020
- International Atomic Energy Agency (1972) *Earthquake Guidelines for Reactor Siting Criteria*. Technical Report Series, no.139, 9-10.
- Keller, E.A. and Pinter, N. (1996) *Active Tectonics: Earthquake, Uplift and Landscape*. Prentice Hall, London, 338pp.
- Ku, C.C. (1963) Photogeologic study of terraces in northwestern Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, no.6, 51-60.
- Lee, J.C, Angelier, J., Chu, H.T., Hu, J.C., Jeng, F.S. and Rau, R.J. (2003) Active fault creep variations at Chihshang, Taiwan, revealed by creep meter monitoring, 1998-2001. *J. Geophys. Res.*, Vol.108, No.B11, 2528, doi:10.1029/2003JB002394.
- Lin, C.W., Shih, R.C., Lin, Y.H. and Chen, W.S. (2002) Structural Characteristics of the Chelungpu Fault Zone in the Taichung Area, Central Taiwan. *Western Pacific Earth Sciences*, v.2, no.4, 411-426.
- McCalpin J. (1996) *Paleoseismology*. Academic Press, San Diego, 588pp.

- Meng, C.Y. (1963) San-I overthrust. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.2, 1-20.
- Meng, C.Y. (1965) Lateral movement in the northern half of western Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.4, 283-286.
- Neuendorf, K.K.E, Mehl, J.P. Jr. and Jackson, J.A. (2005) *Glossary of Geology: Fifth Edition*. American Geological Institute, Alexandria, Virginia, 779pp.
- Omori, F. (1907a) Earthquake of the Chiayi area, Taiwan, 1906. *Introduction of Earthquake*, 103-147. (In Japanese)
- Omori, F. (1907b) Preliminary note on the Formosa earthquake of March 17, 1906. *Bull. Imp. Earthquake Investigation Committee*, v.1, no. 2, p.53-69.
- Segall, P. and Davis, J.L. (1997) GPS applications for geodynamics and earthquake studies. *Annul. Rev. Earth Planet. Sci.* 25, 301-336.
- Seyfert, C.K. ed. (1987) *The Encyclopedia of Structural Geology and Plate Tectonics*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 876pp.
- Sibson, R.H. (1989) Earthquake faulting as a structural process. *J. Struct. Geol.*, v.11, 1-14.
- Sun, S.C. (1964) Photogeologic study of the Tainan-Kaohsiung Coastal plain area, Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.3, 39-51.
- Sun, S.C. (1965) Geology and oil possibilities of the Chingshui-Yuanlin area, Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.4, 161-173.
- Sun, S.C. (1970) Photogeologic study of the Tainan-Hsinying coastal plain, Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.7, 133-144.
- Tang, C.H. (1964) Subsurface geology and oil possibilities of Taoyuan district. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.3, 53-73.
- Tang, C.H. (1968) Photogeological observations on the low hilly terrain and coastal plain area of Hsinchu, Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.4, 35-52.
- Tomota, Y. (1955) Some geomorphological considerations to the Chaochow fault in south Taiwan (Formosa), China. *The Science Reports of the Tohoku University (Japan)*, ser.7, no.4, 58-66.
- U.S. Atomic Energy Commission (1973) Nuclear power plants, seismic and geologic siting criteria. *Federal Register*, v.38, no.218.
- Wallace, R.E. (1970) Earthquake recurrence intervals on the San Andreas fault. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 81, 2875-2890.
- Wang, S. (1976) ERTS-1 satellite imagery and its application in regional geologic study of southwestern Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.13, 37-57.
- Wu, F.T. (1965) Subsurface geology of Hsinchuang structure in the Taipei Basin. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.4, 271-282.
- Yeats, R.S., Sieh, K. and Allen, C.R. (1997) *The Geology of Earthquakes*. Oxford University Press, New York, 568pp.
- Yu, S.B. and Kuo, L.C. (2001) Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley fault, eastern Taiwan. *Tectonophysics*, Vol.333, 199-217.

Recent Advances in the Study of Active Faults in Taiwan

Chii-Wen Lin¹ Wen-Shan Chen² Ruey-Juin Rau³

ABSTRACT

The most disastrous earthquakes in Taiwan's recent history have been mainly caused by the reactivation of active faults. Ever since the 1999 Chi-Chi earthquake, neotectonics related to active faults in Taiwan has been an area of intensive study by domestic and foreign geo-scientists.

In the first phase of the endeavor, geometric features, such as location and structural style, of active faults have been characterized by means of mapping, field and geophysical investigations and drilling. Detailed documentation of various faults has been achieved during the last decade. More recently the study of active faults and neotectonics has shifted to the focus on kinematic analyses, such as crustal deformation and paleoseismology; the former employs a great quantity of geodetic data while the later examines quite a few trenches and holes to infer the nature of active faults in terms of their long-term and short-term slip rates, recurrence time and magnitude of paleo-seismic events.

Summarizing the major results of recent studies, this article compiles parameters, such as short- and long-term slip rates, of 38 major active faults. However, the significance of these data do need further monitoring and more spatial data to substantiate. Although several of the studied active faults have had well-established geometric configuration and kinematic characteristics for inference, others are still questionable or ambiguous to be qualified as active faults. Further clarification of the nature of those faults remains to be a challenge for the coming decade.

Key Words : Active Fault, Active Tectonics, Paleoseismology, Slip Rate, GPS, Taiwan

¹ Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs

² Dept. Geological Sciences, National Taiwan University

³ Dept. Earth Sciences, National Cheng Kung University