

1951年花蓮地震斷層的古地震研究
— 瑞穗鄉鶴岡村安定橋槽溝

Paleoseismologic studies of the 1951 earthquake rupture,
Eastern Taiwan

陳文山 顏一勤 楊志成 楊小青 陳勇全 蔡坤志
黃能偉 朱耀國 張徽正 林啟文 林偉雄 劉彥求

Wen-Shan Chen, Yi-Ching Yen, Chih-Cheng Yang, Hsiao-Chin Yang, Yong-Quan
Chen, Kun-Zhi Tsai, Neng-Wei Huang, Yao-Guo Chu, Hui-Cheng Chang,
Chii-Wen Lin, Wei-Hsiung Lin, Yen-Chiu Liu

經濟部中央地質調查所特刊第十五號

中華民國九十三年十月

1951年花蓮地震斷層的古地震研究 — 瑞穗鄉鶴岡村安定橋槽溝

Paleoseismologic studies of the 1951 earthquake rupture,
Eastern Taiwan

陳文山¹ 顏一勤¹ 楊志成¹ 楊小青¹ 陳勇全¹ 蔡坤志¹
黃能偉¹ 朱耀國¹ 張徽正² 林啟文² 林偉雄² 劉彥求²

Wen-Shan Chen¹, Yi-Ching Yen¹, Chih-Cheng Yang¹, Hsiao-Chin Yang¹,
Yong-Quan Chen¹, Kun-Zhi Tsai¹, Neng-Wei Huang¹, Yao-Guo Chu¹, Hui-Cheng
Chang², Chii-Wen Lin², Wei-Hsiung Lin², Yen-Chiu Liu²

ABSTRACT

By discriminating from the alluvial deposits in the excavations, we identify two events at the Rusui site in the Longitudinal Valley, eastern Taiwan. Radiocarbon dating revealed an earthquake event which occurred with an age equivalent to or younger than BP 500-330 besides the recent 1951 earthquake. The excavation has the amount of vertical displacement about 2.5 m by an east-dipping reverse fault, and the penultimate event shows 0.75 m vertical offset. The minimum vertical uplifting rate is 7 mm/yr.

前言

花東縱谷位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的碰撞帶 (Biq, 1981; Barrier and Angelier, 1986; Teng, 1987; 陳文山, 1988, 1993), 頻繁的地震活動 (Tsai *et al.*, 1977; Tsai, 1978; Yu and Tsai, 1982; Tsai, 1986) 與快速的地殼變形 (Yu and Lee, 1986; Yu and Liu, 1989; Yu *et al.*, 1990; Yu *et al.*, 1997; Yu and Kuo, 2001), 都證明了全新世以來縱谷斷層的活動性。

1. 台灣大學地質科學系 (Dept. of Geosciences, National Taiwan University)
2. 經濟部中央地質調查所 (Central Geological Survey, MOEA)

1951年10月22日與11月25日分別於花蓮及台東地區發生強震，10月的地震震央位在美崙斷層向北的延伸線上，並造成自七星潭海岸起，向南經花蓮市的地表破裂。11月的震央位在南段的縱谷斷層上（池上斷層），由光復鄉大富村沿海岸山脈山腳向南延伸至鶴岡村，以及縱谷西側的玉里鎮，另一由海岸山脈富里國小至池上鄉慶豐村（楊蔭清，1953）。徐鐵良（Hsu, 1962；Hsu, 1976；Hsu and Chang, 1979）首先提出海岸山脈斷層屬於活動斷層，依照1951年的地表破裂分別命名為米崙斷層、玉里斷層及池上斷層等（Hsu, 1962）。另外，朱與游（游明聖等人，1994；朱倣祖與游明聖，1995，1996，1997）將縱谷斷層分為花蓮段、玉里段及台東段。林啓文等人（2000）彙整前人研究，指出縱谷中具有米崙斷層、月眉斷層、玉里斷層、池上斷層、鹿野斷層及利吉斷層等七條活動斷層。石再添等人分析縱谷中河階與斷層崖，亦認為縱谷具有許多活動斷層（石再添等人，1983；楊貴三，1986）。陳文山（1993）亦針對富里地區的縱谷斷層逆衝至河階礫石層之上，同時於富里至竹田形成一北東走向的斷丘（可能為壓力脊地形）。目前雖然諸多針對縱谷中的活動斷層研究，但是對於這些斷層的相關性以及斷層特性，大多沒有確切資料以及深入的探討。近十年來利用GPS觀測以及近斷層的大地測量資料分析，才逐步對於斷層特性有著較深入的了解。綜合上述研究，不論地震活動、地表地質、地形及大地測量，都顯示縱谷斷層是台灣島上最為活躍的斷層。基於古地震與新期構造研究考量，本研究選取了1951年11月25日地震造成的地表破裂位置進行古地震研究，以期了解縱谷斷層的長期活動性；並期待從古地震的研究能深入了解全長150公里縱谷斷層的特性。

槽溝鄰近區域的地質與地形概況

槽溝選址的調查工作主要參考前人研究資料（Hsu, 1962；鍾令和，2003），並配合野外實地勘查，選擇位於瑞穗鄉鶴岡村北方約6公里的安定橋；此地點是1951年11月所紀錄地震斷層的最北段。槽溝位於海岸山脈西側的沖積扇之上，1951年地表破裂截切沖積扇，並在沖積扇上形成一南北走向，高約小於1公尺的崖坡。經訪查地主得知槽溝開挖處的崖階於1951年地震當時確實有隆起，地震之後未經整治，地表耕作影響深度約20公分，故此崖坡未遭受大規模的擾動。槽溝共計三處，一號槽溝全長約22公尺、寬約12公尺、深約6公尺；其餘僅開挖一階，

槽溝全長約十數公尺、寬約1.5公尺、深約2公尺。本文僅以一號槽溝與一號槽溝南側的二號南槽溝剖面進行討論。

槽溝剖面地層與構造

安定橋槽溝剖面的沉積層主要由礫石、砂礫層與土壤層組成，從沉積結構分析，可以分成幾種不同環境的沉積層(圖一)。表層為厚10-20公分耕作土層(M)，經人為擾動淘選度差的砂礫層。另外槽溝剖面中具有兩層砂泥質的土壤層(O1與O2)，O1土壤層厚約10-20公分呈黑色的泥質砂層，含有少量小礫石；而O2土壤層厚度約10-50公分，上部為紫色壤土，下部為砂泥互層。O1土壤層僅發育於下盤，O1與O2土壤層厚度由東向西逐漸變薄，在斷層兩側褶皺軸部因塑性變形而產生變厚現象。礫石與砂礫層的結構可以分為兩類，一是沉積物結構屬於顆粒支持構造，淘選度普通並具有平行與交錯層理的礫石與砂礫層，其中經常夾有透鏡狀的砂泥層，岩相特徵屬於沖積扇河道環境。另一類型屬於基質支持構造，淘選度差的含泥質礫石層，沒有任何層理構造，沉積層經常形成不平整的侵蝕底面，岩相特徵屬於碎屑流(debris flow)堆積層。從現地的地形來看，槽溝位在海岸山脈由東向西流入縱谷河流形成的沖積扇之上，因此剖面中的沉積層都屬於沖積扇河流或洪水季節土石流的堆積物。從槽溝剖面中6公尺厚的礫石都為變質砂岩，未發現屬於大南澳片岩的礫石，因此可以確定沉積物是來自東側海岸山脈的更新世水璉礫岩。

一號槽溝剖面所展示的構造是由一條截穿至地表的逆斷層(被M耕作土層覆蓋)，斷層尖端延至地表附近分岔成為兩條斷層(F2與F1)，斷層兩側沉積層受到托迤作用形成倒轉的掩臥褶皺。斷層除了被耕作土層覆蓋之外，耕作土層之下的O1土壤層則被F2斷層截切，下層S1砂質泥層因形成倒轉向斜褶皺構造，而覆蓋在O1土壤層之上。一號槽溝南北牆剖面都呈現類似的構造(圖一，二)。南北牆剖面的F1斷層位在F2斷層的上盤，剖面下部(槽溝第二階)的兩條斷層大致沿著同一斷層帶，至近地表分岔形成不同的斷面。斷層走向與傾向從各槽溝剖面所量測結果如下，一號溝北牆的斷層位態為 $N8^{\circ}E$ 、 $E24^{\circ}$ ，南牆為 $N14^{\circ}E$ 、 $E30^{\circ}$ ；綜合上述結果斷層走向大致為 $N8-14^{\circ}E$ ，向東傾斜 $E24-30^{\circ}$ 。

二號槽溝剖面的沉積層與一號槽溝有些微不同，O1土壤層與M耕作土層之間有一層砂礫石層(Gc0)，此層未見於一號槽溝(圖三、圖四)；由碳14定年資

料表示此沉積屬於近50年以來的堆積層（ $ADS-30 < 50$ BP yr）。F2斷層截切O1土壤層，但是被Gc0砂礫石層覆蓋；顯示F2斷層發生於O1土壤層形成之後，以及Gc0礫石層沉積之前。F2斷層上盤沉積層為Gc2與Gm2礫石層，F1斷層上盤為Gc3礫石層，兩條斷層上盤沉積層都未產生褶皺構造。F1斷層位態為 $N6^{\circ}E$ 、 $E24^{\circ}$ ，F2斷層為 $N18^{\circ}E$ 、 $E38^{\circ}$ 。

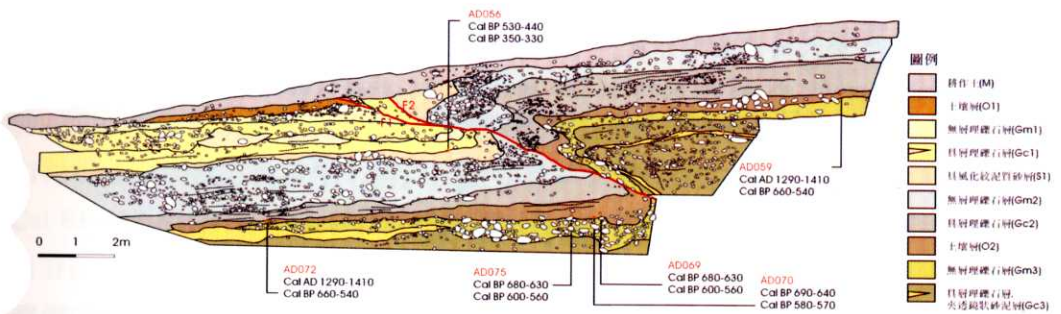


圖一 1號槽溝北牆，沉積層以砂礫層為主。

Fig.1 Trench 1 profile shows profile of the northern wall which dominantly consists of alluvial gravel deposits.

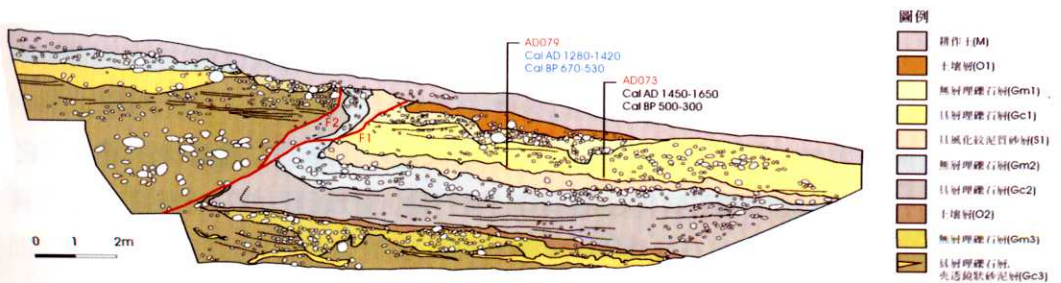
本研究共有12個碳14定年標本，主要針對O2土壤層（6個）、S1泥質砂層（3個）、O1土壤層（2個）以及Gc0砂礫層（1個）的年代測定。O2土壤層的年代有AD059與AD072為Cal BP 660-540、AD069、AD075與AD102為Cal BP 680-630、600-560，以及AD070為Cal BP 690-640、580-570。從5個年代來看，O2土壤層年代約為Cal BP 690-540。S1泥質砂層定年資料計有AD056為Cal BP 530-440、350-330，AD073為Cal BP 500-300以及AD079為Cal BP 670-530。其中AD079的年代大於AD073與AD056，且與O2土壤層的年代相似，本研究認為可能是屬於再堆

積的標本，因此S1砂層的年代約為Cal BP 530-300。O1土壤層主要在二號南溝剖面所測定，計有ADS17為Cal BP 300-250, 230-130, 110-70以及ADS21為Cal BP 310-260, 220-140。Gco砂礫層的年代為ADS030 <50 BP yr。綜合以上碳14年代資料，O2土壤層的沉積年代約為540-690 Cal BP，S1的具風化紋泥質砂層年代為530-300 Cal BP，O1土壤層年代小於 300 Cal BP，Gco砂礫層年代為近50年以來的沉積層（圖二、三、四）。



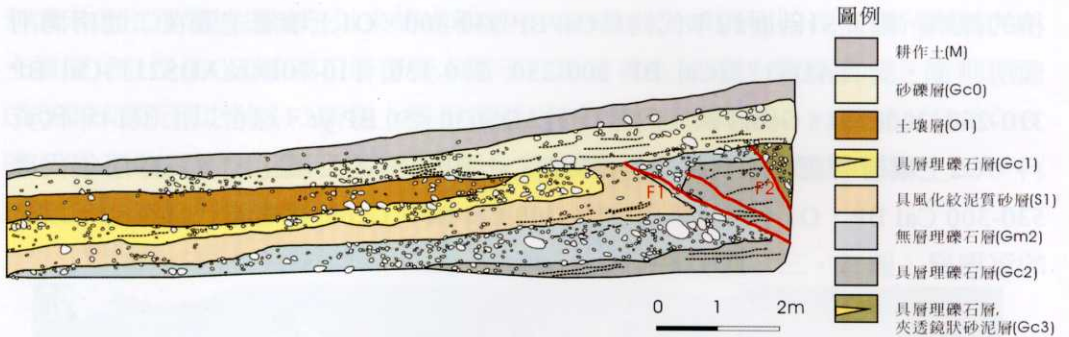
圖二 1號槽溝北牆，從斷層兩側 O2 土壤層的高差來看，總抬升量為 2.5 公尺。

Fig.2 Trench 1 profile shows the northern wall. Based on the stratigraphic dislocation of Gc2 layer in both sides of fault zone, the total vertical offset by F1 and F2 faults amounts up to about 2.5 m.



圖三 1號槽溝南牆，F1斷層截切 O1 土壤層，推論 F1 斷層為 1951 年的地震斷層。

Fig.3. Trench 1 profile shows the southern wall. F1 fault of the 1951 earthquake rupture cut through O1 soil layer.



圖四 2號槽溝北牆，從F1斷層兩側Gc2砂礫層的高差來看，1951年地震斷層造成0.75公尺的垂直抬升量。

Fig.4 Trench 2 profile shows the northern wall. Based on the offset of the Gc2 layer in both side of F1 fault, the 1951 earthquake rupture shows vertical displacement of 0.75 m.

討論與結論

由一號槽溝的地層與構造特徵分析，除了地表M耕作土層之外，南牆F2斷層的上盤最頂部沉積層為Gm3礫石層，而F1斷層上盤最頂部沉積層為S1砂層，S1砂層以上的沉積層（Gc1、Gm1與O1）僅發現在斷層下盤。北牆F2斷層的上盤最頂部沉積層則為S1砂層，F2斷層截切在S1與Gc1層之間；從沉積層的分布來看無法判斷原來的Gc1與Gm1礫石是否沉積在斷層上盤，但由F2斷層截切最年輕的沉積層來判斷，推論F2斷層活動時間應在Gc1礫石層沉積之後。

從一號槽溝南北北牆剖面來看，F1斷層都截切在F2斷層下盤的向斜軸部，南牆剖面的F1斷層截切在S1與Gm1層之間，並且造成Gm1層形成倒轉向斜，而使得Gm1礫石層覆蓋在O1土壤層之上；同樣構造也見於北牆剖面。以此構造來看，F1斷層應形成於O1土壤層沉積之後。二號南溝剖面大致上也具同樣的構造，F2斷層的上盤為Gc3礫石層下盤為Gm2與Gc2礫石層，F1斷層位在F2斷層下盤向斜倒轉翼。

從上述兩個槽溝的地層與構造關係來看，古地震事件計有兩次，F2斷層為最早形成的斷層，地表破裂時斷層尖端可能截穿地表，並於斷層兩側形成背斜與向斜褶皺構造。1951年地震時，斷層沿著F2斷層的斷面活動，但斷層尖端截穿至近地表時，沿著F2斷層下盤向斜軸部截切，並造成Gm1層堆覆在O1土壤層之上（一號槽溝北牆）。

一號槽溝北牆剖面F2斷層兩側地層總共形成的高差約為2.5公尺，而F1斷層所造成的高差在斷層兩側沒有可對比岩層，因此無法估算1951年地震造成地表的抬升高度。但是在二號槽溝剖面則可以計算1951年地震所造成的高差（圖四）。二號槽溝北牆剖面F1斷層的上盤為Gm2與Gc2砂礫石層；F2斷層的上盤為Gc3礫石層。從F1斷層上下盤兩側Gc2砂礫層高差估算，1951年地震造成的垂直抬升量約為0.75公尺，因而N-2古地震造成的垂直抬升量則為1.75公尺。作者與地主訪談（1951年地震當時地主為18歲），亦表示1951年地震時此處地表僅有些微的隆起，顯然與槽溝剖面所估算的錯移量吻合。假如F1與F2斷層是經由一次地震事件（1951年）所造成的構造，顯然形成2.5公尺的抬升高度與當時觀察的現象，以及現今的地形特徵有不吻合。

從上述地層與構造關係的分析，本研究認為1951年之前的古地震事件應該在S1泥質砂層沉積之後發生，所以由定年資料來看，此古地震事件發生時間應較Cal BP 530-330年還晚。而形成F1斷層的古地震事件應是1951年地震所造成，從岩層紀錄與定年資料來看，此事件是發生在O1土壤層沉積之後，而O1土壤層的時代為小於Cal BP 300年，顯然與1951年地震的發生年代吻合。另外，二號槽溝剖面中覆蓋在F1斷層之上的Gc0砂礫層的年代為小於Cal BP 50年，顯然是1951年地震之後數年之內所堆積的沉積層。由兩次地震事件所造成的抬升量與時距分析，此兩次古地震發生的時代間距小於250年，而1951年之前地震此處造成垂直抬升量為175公分，因此兩次地震之間每年平均的抬升速率應大於7公厘。

1951年地震斷層在瑞穗以北區段，大致是沿著海岸山脈西側與縱谷的交會處產生地表變形，但位於和諧橋（安定橋槽溝北側約1公里）東側1951年地表破裂的斷層兩側岩層經調查顯示都屬於水璉礫岩，顯然1951年此區段的地震斷層是延伸進入海岸山脈之中，並非位在縱谷與海岸山脈的交會處，以此來看縱谷斷層應該還位在1951年地震斷層的西側。1951年地震斷層除了在和諧橋東側產生地表破裂之外，在西側約數百公尺處也產生與其大略平行的一條地表破裂帶。此破裂帶即位於海岸山脈的山麓前緣與縱谷的交會處，此斷層延著山麓前緣向北延伸至自強外役監，此破裂帶可能屬於縱谷斷層其中之一的斷層區段。1951年兩次的地震斷層造成縱谷兩側產生多處的地表破裂（Hsu, 1962；楊蔭清，1953），之後大部分研究縱谷斷層都根據此地震斷層（Hsu and Chang, 1979；游明聖等人，1994；朱效祖與游明聖，1995，1996，1997；林啓文等，2000；鍾令和，2003；石再添等人，1983；楊貴三，1986）。本研究認為1951年地表斷裂應與集集地震所造成的地表破裂相似，應可以相互連接或每區段破裂相隔距離不會太大。但徐（Hsu,

1962) 調查結果僅呈現非常局部的地表破裂，且各區段之間相隔數十公里（如池上與鶴岡區段）或則呈現零星的地表破裂；破裂帶位置大都位在山麓前緣處，而沒有顯示地表斷裂的區域大都位在現今的河床。因此，本研究認為這些位於河流的區域在1951年時應該都有產生地表斷裂，只是調查當時可能都已被河水沖蝕破壞，因而無法判斷是否具有地表破裂。另外，從徐（Hsu, 1962）調查結果顯示1951年的地表斷裂不僅沿著縱谷斷層活動，而在海岸山脈以及中央山脈之中都有局部區域產生斷層，這些地表斷層跡的走向也大致與縱谷斷層平行。雖然板塊邊界斷層界定在某一特定的介面，但是板塊擠壓形成的變形帶可能會造成一個寬闊的斷層帶如利吉層，而斷層帶的兩側或其中的剪切帶都有可能在地震當時形成地表破裂。另外，位在接近邊界斷層兩側的板塊內部也會產成許多與其平行的斷層例如中央山脈內部的鹿野斷層，海岸山脈內部的月眉斷層、永豐斷層與都巒山斷層則屬於位在板塊內部的斷層。無論是位在邊界斷層帶之中或則在板塊內的斷層，當處於活躍的板塊擠壓環境時，這些斷裂帶大都應還處在活動的狀態。因此本研究認為1951年11月地震斷層造成多處的地表破裂，這些地表斷層可能分處於不同的構造環境，例如由斷層位置來看，玉里斷層可能是位於中央山脈內部的斷層。雖然過去諸多研究指出縱谷中有許多的斷層，但是對於斷層特性與所處的構造環境目前都沒有深入的探討，因此為了解活動斷層的地震地質意義應重視這些問題。

參考文獻

- 石再添、張瑞津、黃朝恩、石慶得、楊貴三、孫林耀明（1983）台灣北部及東部活斷層的地形學研究。國立台灣師範大學地理學研究報告，第九期，第21-72頁。
- 朱傲祖、游明聖（1995）花東縱谷活動斷層調查研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，NSC83-0202-M-047-001，共186頁。
- 朱傲祖、游明聖（1996）台灣花東縱谷新期大地構造：古地震、應力、應變及活動斷層位移之研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，NSC85-2111-M-047-001，共63頁。
- 朱傲祖、游明聖（1997）台東縱谷地震與斷層關係之研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，NSC86-2116-M-047-002，共133頁。
- 林啓文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正（2000）臺灣活動斷層概論(第二版)。經濟部中央地質調查所特刊，第十三號，共122頁。
- 陳文山（1988）臺灣海岸山脈沉積盆地之演化及其在地體構造上之意義。國立台灣大學地質學研究所博

士論文，共304頁。

- 陳文山 (1993) 海岸山脈地區花東縱谷斷層的活動性淺談。地工技術，第四十四期，第52-57頁。
- 游明聖、鄭世楠、葉永田 (1994) 臺東縱谷地區斷層分段。地質，第十四卷，第一期，第97-120頁。
- 楊貴三 (1986) 台灣活斷層的地形學研究—特論活斷層與地形面的關係。私立中國文化大學地學研究所博士論文，共178頁。
- 楊蔭清 (1953) 四十一年來之花蓮地震。台灣文獻，創刊號，第67-71頁。
- 鍾令和 (2003) 1951年池上一玉里地震地表破裂與其所指示之新期構造意義。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共138頁。
- Barrier, E. and Angelier, J. (1986) Active collision in eastern Taiwan, the Coastal Range. *Tectonophysics*, 115, 167-175.
- Biq, C. C. (1981) Collision, Taiwan-style. *Mem. Geol. Soc. China*, 4, 91-102.
- Hsu, T. L. (1962) Recent faulting in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China*, 1, 95-102.
- Hsu, T. L. (1976) Neotectonic of the Longitudinal Valley, eastern Taiwan. *Bull. Geol. Sur. Taiwan*, 25, 53-62.
- Hsu, T. L. and Chang, H. C. (1979) Quaternary fault in Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China*, 31, 155-165.
- 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. *Jour. Geophys. Res.*, 108, B11, 2528.
- 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. Fr.*, 164, 4, 533-570.
- Teng, L.S. (1987) Stratigraphic records of the late Cenozoic Penglai Orogeny of Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, 25, 205-224.
- Tsai, Y. B. (1986) Seismotectonics of Taiwan. *Tectonophysics*, 125, 17-37.
- Tsai, Y. B., Teng, T. L., Chiu, J. M. and Liu, H. L. (1977) Tectonic implication of recent seismicity in the Taiwan Region. *Mem. Geol. Soc. China*, 2, 13-41.
- Tsai, Y. B. (1978) Plate subduction and the Plio-Pleistocene orogeny in Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, 15, 1-10.
- Yu, S. B. and Tsai, Y. B., 1982, A study of microseismicity and crustal deformation of the Kuang Fu-Fuli area in eastern Taiwan. *Bull. Inst. Earth Sci., Acad. Sin.*, 2, 1-17.
- Yu, S. B. and Lee, C. (1986) Geodetic measurement of horizontal crustal deformation in eastern Taiwan. *Tectonophysics*, 125, 73-85.
- 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*, 32, 3, 209-231.
- Yu, S. B., Jackson, D. D., Yu, G. K. and Liu, C. C. (1990) Dislocation model for crustal deformation in the Longitudinal Valley area, eastern Taiwan. *Tectonophysics*, 183, 97-109.
- Yu, S. B., Chen, H. Y. and Kuo, L. C. (1997) Velocity field of GPS stations in the Taiwan area. *Tectonophysics*, 274, 41-59.
- Yu, S. B. and Kuo, L. C. (2001) Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley Fault, eastern Taiwan. *Tectonophysics*, 333, 199-217.