

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

台灣西南部活動斷層之長期滑移速率及其相關之構造地形 (1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2119-M-002-026-

執行期間：93 年 08 月 01 日至 94 年 07 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學地質科學系暨研究所

計畫主持人：陳于高

共同主持人：陳文山，侯進雄

計畫參與人員：綿貫拓野、陳雅雯、姜宏偉、賴光胤、林玉儂、郭昱廷、王昱

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 6 月 21 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☐ 成果報告
☒ 期中進度報告

台灣地震地質研究-台灣西南部活斷層研究-

台灣西南部活動斷層之長期滑移速率及其相關之構造地形

(1/3)

計畫類別：☐ 個別型計畫 ☒ 整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2119-M-002-026-

執行期間：93年08月01日至94年10月31日

計畫主持人：陳于高教授

共同主持人：陳文山教授、侯進雄科長

計畫參與人員：綿貫拓野、陳雅雯、姜宏偉、賴光胤、林玉儂、郭昱廷、王昱

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：☒ 精簡報告 ☐ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐ 赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☐ 一年☐ 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學地質科學系

中華民國 94年 06月 20日

一、中、英文摘要及關鍵詞(keywords)。

(一) 中文摘要。

關鍵詞：新期地體構造運動、地理資訊系統、數值高程模型、三維模型處理軟體、碳十四定年、光螢光定年、熱螢光定年。

本計畫配合整合型計畫之其他子計畫，探討台灣西南部麓山帶與平原地區活動斷層的確實位置與滑移速率。目前台灣地區雖由地調所發表了四十二條活動斷層，然而除了車籠埔斷層外，我們對於其他斷層的了解是相當有限的，本研究希望可以藉由車籠埔斷層的研究經驗，對於台灣西南部可能造成高度破壞的地震斷層，深入了解其地表分部與長期滑移速率，希望可以在大地震發生之前，完成每一條活動斷層的研究與調查。

本計畫主要採用地形學與定年學的方法。在今年正在執行的計畫中，已經使用地理資訊系統軟體，與台灣現在之數值高程模型資料(40m DEM)，將整個台灣西南地區的構造地形完成了細部分區與初步特徵鑑定，對局部重要地區(如：恆春、潮州與觸口斷層)也已購買航空照片，與並訂購高解析的衛星影像(QuickBird 或 Ikonos)，著手生產高解析度(<5m in grid)數值高程模型資料，期待可以在判讀構造地形與活動斷層位置的工作上更為精確。另外地震與構造活動是息息相關的，因此將過去地震資料重新定位後，再配合先前所購買的三維模型處理軟體(GOCAD)，建立出相關斷層的三維構造模型，可將了解地下構造的延伸，如此結合地表與地下結果，希望能一窺主要活動構造的全貌，進而了解活動機制與行為。

徹底了解活動構造之幾何型態後，再配合碳十四、熱螢光、光螢光等定年法，來測定構造運動所造成的河階台地或錯動地層年代，進行精細的比對工作，便可進一步計算活動構造之長時間滑移速率。近年所研發之單顆粒光螢光定年儀，對於台灣這種山高水急所堆積的河相沉積物，可以排除曬退不完全所導致的年代高估情形，大大提昇光螢光定年資料的準度與精度，並且可以解決目前日益增加的年代需求問題。

因此，本計畫在今年的研究工作後，規劃再利用三年的計畫執行期間，徹底的針對台灣西南部人口稠密區之活動斷層進行研究，本計畫希望達成下列三項目標：(1) 了解台灣西南部活動斷層之構造形貌 (2) 推估長期之滑移速率 (3) 改進定年技術。

(二) 英文摘要。

Key words: neotectonic activity, geographic information system (GIS), digital elevation model (DEM), 3-D modeling software (GOCAD), ¹⁴C dating, optically stimulated luminescence dating (OSL), thermoluminescence dating (TL).

This project will collaborate with other principal investigators in the integrate project to work on the neotectonics of southwestern Taiwan. As we know, 42 active faults have been identified by Central Geological Survey, ROC. Except for the Chelungpu fault, the 1999 earthquake fault, we only have insufficient information on the others. Based on the Chi-Chi experience, this project aims to find out the potential earthquake faults in the proposed area and figure out their long-term slip rates. Hopefully, we can prepare well before next disaster coming.

The methods of Geomorphology and Geochronology will be adopted in this project. The GIS software and 40m DEM of Taiwan have been used to roughly divide the study area into several neotectonic domains by characterized geomorphic features and distinguishable

structures. The high priority domain has been started to study by high resolution DEM (<5m), produced by aerial photos and high-resolution satellite imagery (QuickBird and Ikonos). The result provides precise tectonic features that can be linked to active fault systems, i.e. Hengchun, Chouchao, and Chukou-Tachien-shan. On the other hand, the distribution of the seismicity provides a good opportunity to further understand the subsurface geological structures. We will use the relocated earthquakes to establish the seismogenic structures by the 3-D modeling software (GOCAD). The last step is to combine the surface features with the subsurface structural framework to give an evaluation on the faulting mechanism and behavior.

For the purpose of computing the recurrence interval, dating methods of radiocarbon, optical stimulated luminescence (OSL), and thermoluminescence (TL) are used to build up the time frame. The dating methods can also be applied to the river terraces and tablelands in the surrounding area to derive the long-term slip rates of the active structures, which is of great importance in evaluating the current situation of the active faults. For confirmation of the residual luminescence signals in the fluvial sediment, a new single-grain reader is urgently needed to solve the poorly-bleached problem and provide more terraces ages.

The project plans three more years to accomplish the goals: 1) to evaluate of characteristics on all active faults by surface and subsurface datasets; 2) to figure out the long-term slip rate of them; 3) to improve the dating techniques.

二、報告內容。

(一)前言。

本計畫主持人於十五年前，即已開始利用地形與年代，來進行新期地體構造運動的研究(Chen and Liu, 2000, 1996, 1993, 1992, 1991; Chen *et al.*, 2002, 1994; Wu *et al.*, 1993), 並曾針對台南地區的地形，判讀出階地 (包括海階與河階)在空間上的分布，再尋找適當的年代材料加以定年，最後利用絕對海水面變化趨勢，探討了階地發育的過程與新期構造運動之間的關聯。此外，於 2002 年初設立光螢光定年實驗室，經過約一年的人員訓練與儀器校正，現已開始進行地質標本之年代測量。本計畫主持人與博士生陳雅雯於 2002 年中參加了第十屆國際螢光及電子自旋定年會議(10th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating), 不但於會中發表了台灣車籠埔斷層長期滑移速率的初步計算結果(Y.G. Chen *et al.*, 2003), 並且進一步了解各國在螢光定年與電子自旋方面的最新發展。

目前台灣活動斷層的研究相當的豐富，但常苦於缺乏年代資料的配合，而在確實掌握活動斷層特徵上陷入瓶頸，本研究致力於光螢光定年法的各項訊號與特徵研究，期望對於台灣西南部各階地材料進行定年的工作；利用地形與年代的資料，對於新期構造運動的長時間滑移速率，得到初步的研究結果，期盼能深入了解與探討個別斷層的活動特徵。

(二)研究目的。

本研究的目的即針對台灣西南部的十數條活動斷層與存疑性活動斷層做更詳細的研究，並對其長期滑移速率及活動週期進行推估。

第四紀地質工作一直苦於年代資料的缺乏，傳統之碳十四定年法具有五萬年年代上限，及標本不易尋得的缺點，而目前最新的光螢光定年方法，正好可以彌補前述兩項的缺憾，相信可以針對研究區域的新構造活動有更深入的了解。本計畫對於河階樣本的定年工作，是採集上覆於岩底階地(strath terrace)之河階礫石層間的粗砂標本，由於一般岩底階地

上覆之薄層礫石，據信與階地形成年代十分接近，而台灣之河階則主要是因為構造運動所造成，在此前提下，經由計算不同時期階地面間之年代間距，可推測斷層活動的週期性，此外各階地面與現生沖積面的高差，即為斷層活動累積之位移，將之除以階地形成時間，就可推算斷層活動的長時間滑移速率。

(三) 文獻探討。

過去 20 年以來，國外地質學者與地震學者對於古地震，以及地震再現週期的研究都有初步的成果，其中以美國加州 San Andreas Fault 的研究尤為詳細。而國內古地震研究對於槽溝的挖掘研究方面，去年以來主要是針對車籠埔斷層沿線，目前已大致藉由數名研究生的論文，及本研究小組在國際期刊的正式發表，有豐富的成果呈現；另在地形研究方面，921 地震以來，本計畫主持人使用新完成的數值高程模型(DEM)，配合地理資訊系統(GIS)軟體中的三維資訊分析，針對桃園(Wang *et al.*, 2002)、新竹 (Watanuki and Chen, 2003)、新社(Lai *et al.*, 2001)、台東(Chung *et al.*, 2002)、及南投地區(Chen *et al.*, 2003)進行分析，大幅地提高了地形分析的準確性與便利性。

近年來螢光定年法已經廣泛的被使用在各種不同的地質、考古材料，此方法發展於民國六十年代，開始是從事於可經過長時間受熱或曝曬而使螢光訊號歸零的材料標本上，例如陶片、火山(Chen *et al.*, 2001)、深海沉積物等，現在由於儀器的進步與快速發展，已經大規模的應用於斷層泥、沙丘砂、黃土、河川沉積物、冰川沉積物、火山灰、海洋沉積物等，更甚至是由於坡度陡峭所造成的崩積層，因此針對台灣西南部廣大的沉積環境來說，尚有許多可待解決的議題。

近年來利用螢光定年法來對構造活動進行研究的課題越來越多(Cheong *et al.*, 2003; Robinson *et al.*, 2003; Spencer *et al.*, 2003)，因此加速台灣的研究腳步是目前最重要的工作。但由於台灣處於碰撞活動劇烈的地區，山高水急的環境，在標本的螢光訊號方面容易有曬褪不完全的問題存在，目前最新發展之單顆粒螢光定年儀可以經由大量的測試與篩選，排除年代高估的問題，因此今年計畫採購本項先進儀器，期望提昇光螢光年代資料的精度與排除日益增加的年代需求問題。

去年本計畫主持人與學生(Chen *et al.*, 2003)也針對台灣本地之標本實際進行光螢光定年法的測定工作，現也已發表至國際期刊之中，目前只待更多的人力與物力投入而能獲得更為豐富的成果。

(四) 研究方法。

本研究於 92 年度計畫已開始處理高解析衛星影像及地形的判釋，目前已完成恆春半島與潮州斷層沿線的研究，而本年度的計畫則開始加速定年工作的進行，故須添購單顆粒光螢光定年儀，期盼解決殘餘劑量與年代需求增加之問題。

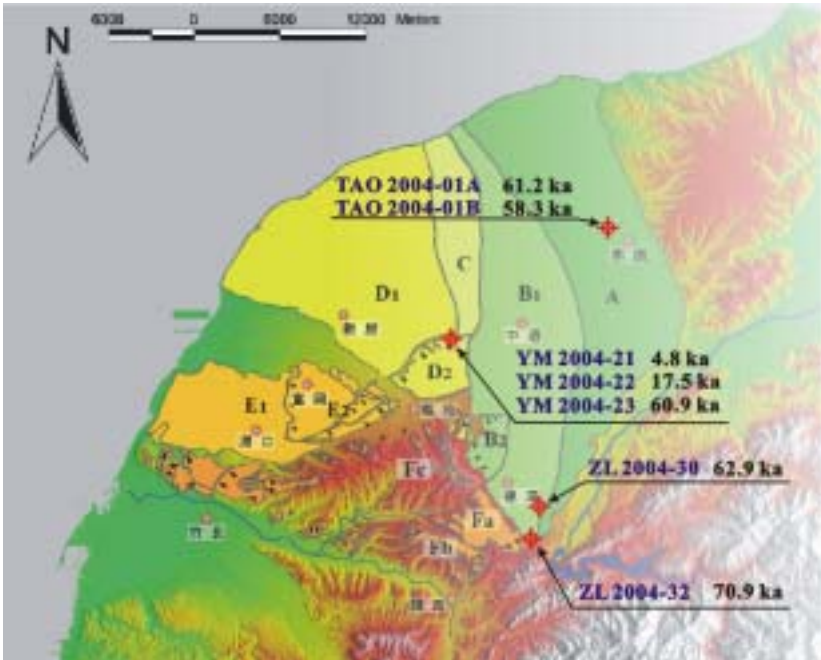
所採用的研究方法乃是以地形為基礎研究，再配合定年資料的結果，確實的了解活動斷層的活動特性，詳細的研究發法內容請參閱計畫書內容，或待完整報告時詳列。

(五) 結果與討論。

a. 桃竹地區

桃園至新竹以北一帶因已具有相當成熟與豐富之地形、地質研究資料，在新期活動構造之研究上具備極為優渥之條件。是故欲了解地形成因與活動構造的關連性，此區域是相當適合的研究對象。於本地區已累積兩年的研究資料，於三個主要紅土階地面-桃園面、中壢面、楊梅面上皆已有初步的研究結果(圖一)，今年將目標訂於楊梅面底部、關西面與

店子湖面，由先前研究可知，低位階地面形成後仍有後期再沉積作用，再加上人為及植物擾動，因此本年度計畫將目標至於高位階地上尋找一完整而清楚的沉積層剖面，以便釐清相關問題。



A	桃園面
B	中壢面
C	大崙面
D1	楊梅面
D2	平鎮台地
E1	富岡面
E2	伯公岡台地
Fa	銅鑼圈面
Fb	關西面
Fc	店子湖面

圖一，桃竹地區的階地標本位置圖。

b.嘉南地區

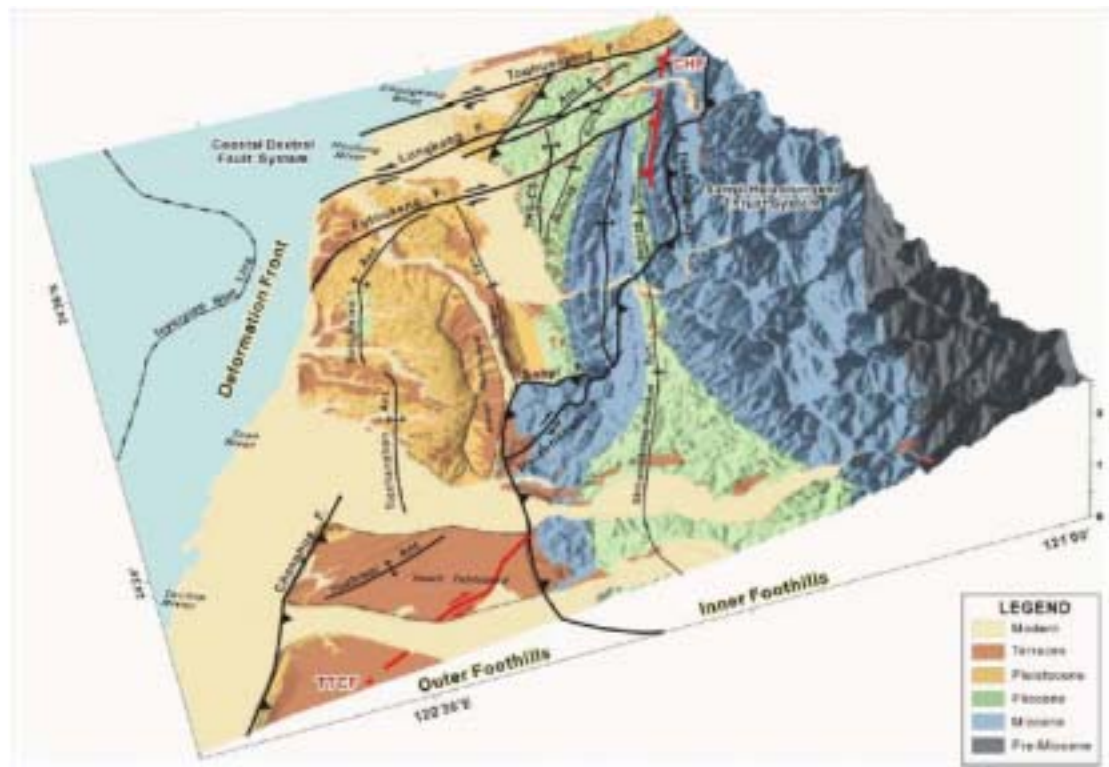
經過兩年的現生河流訊號比較，結果顯示樣本之螢光靈敏度高，平原區的標本曬褪情況良好，因此可針對本地區的活動構造進行定量的速率推估。去年研究結果利用嘉義井與華山高位階地標本，初步計算出九芎坑斷層的長時間垂直滑移速率(圖二)，但由於距離遠且兩位置間地質構造複雜，無法確切了解九芎坑斷層的活動情形，故配合去年的九芎坑斷層的相關研究，採集於竹崎地區所鑽取的岩心標本進行定年工作，由於竹崎一號井之岩心紀錄中已發現斷層出現位置，因此採集連續的岩心標本進行螢光定年，再配合年代與深度差異之比，即可計算出九芎坑斷層的長時間滑移速率，了解九芎坑斷層之活動性。



圖二，嘉南地區的現生河流標本採樣位置圖。

c. 台中苗栗地區

先前研究(Lin, 2005)利用已發表之陸海地下地質資料，搭配 1935 年之地震資料，重建發震構造的基本模型，指出古正斷層的復活，在苗栗地區的新期活動構造扮演關鍵性的角色，其中屯子腳斷層、紙湖斷層與斗煥坪斷層(圖三)均可能與古正斷層系統有關。但屯子腳斷層與紙湖斷層並未於階地留下明顯的累積變形量，且屯子腳斷層可能並未截切較老的三義-小東勢斷層系統，指示了此兩斷層為較晚發育或活動週期較長；而斗煥坪斷層則有累積性的變形量存在，因此本年度計畫於其鄰近階地採集標本，以釐清其構造活動情形。



圖三，台中苗栗地區的區域地質圖。

(六) 參考文獻。

- Chen, Y.G., Liu, T.K. (2000) Holocene uplift and subsidence along an active tectonic margin, southwestern Taiwan. *Quaternary Science Reviews* 19, 923-930.
- Chen, Y.G., Liu, T.K. (1996) Sea-level changes over past several millenniums in Penghu islands, Taiwan Strait. *Quaternary Research* 45, 245-262.
- Chen, Y.G., Liu, T.K. (1993) Holocene radiocarbon dates in Hengchun Peninsula and their neotectonic implication. *Journal of Geological Society of China* 36, 4, 457-479.
- Chen, Y.G., Liu, T.K. (1992) Vertical crustal movement of a tectonic uplifting volcanic island--Lutao. *Journal of Geological Society of China* 35, 3, 231-246.
- Chen, Y.G., Liu, T.K. (1991) Radiocarbon dates of river terraces along the lower Tahanchi, Northern Taiwan: their tectonic and geomorphic implication. *Proc. Geol. Soc. China* 8, 102-105.
- Chen, Y.G., Wu, W.S., Chen, C.H., Liu, T.K. (2001) A date for volcanic eruption inferred from a siltstone xenolith. *Quaternary Science Reviews* 20, 869-873.
- Chen, Y.G., Liu, T.K., Tsai, P.S., Wang, C.H. (1994) An evaluation on age and relevant problems of the Tainan Formation in Tainan area. *Central Geological Survey Special Issue* 8,

171-180 (in Chinese with English abstract).

- Chen, Y.G., Chen, W.S., Wang, Y., Lo, P.W., Liu, T.K., Lee, J.C. (2002) Geomorphic evidence for prior earthquakes: Lessons from the 1999 Chichi earthquake in central Taiwan. *Geology* 30, 2, 171-174.
- Chen, Y.G., Shyu, J.B.H., Ota, Y., Chen, W.S., Hu, J.C., Tsai, B.W., Wang, Y. (2004) Active structures as deduced from geomorphic features: a case in Hsinchu area, northwestern Taiwan. *Quaternary International* 115-116, 189-199.
- Chen, Y.G., Chen, Y.W., Chen, W.S., Zhang, J.F., Zhao, H., Zhou, L.P., Li S.H. (2003) Preliminary results of long-term slip rates of 1999 earthquake Fault by luminescence and radiocarbon dating. *Quaternary Science Reviews* 22, 1213-1221.
- Chen, Y.W., Chen, Y.G., Chen, W.S., Lee, C.T. (2003) Slip-rate estimation of active fault by luminescence dating on deformed river terraces at Tsaotun, Central Taiwan. *Eos. Trans. AGU*, 84, 46, Fall Meeting, Suppl., Abstract.
- Chen, Y.W., Chen, Y.G., Murray, A.S., Liu, T.K., Lai, D.J. (2003) Luminescence dating of neotectonic activity on the Southwestern Coastal Plain, Taiwan. *Quaternary Science Reviews* 22, 1223-1229.
- Cheong, C.S., Hong, D.G., Lee, K.S., Kim, J.W., Choi, J.H., Murray, A.S., Chwae, U., Im, C.B., Chang, C.J., Chang, H.W. (2003) Determination of slip rate by optical dating of fluvial deposits from the Wangsan fault, SE Korea. *Quaternary Science Reviews* 22, 1207-1221.
- Chung, L.H., Shyu, J.B.H., Chen, Y.G., Lee, J.C., Hu, J.C. (2002) Surface rupture reevaluation of the 1951 earthquake sequence and neotectonic implication of east Taiwan. *Eos. Trans. AGU*, 83, 47, Fall Meeting, Suppl., Abstract.
- CGS (2000) An introduction to the active faults of Taiwan. Central Geological Survey Ministry of Economic Affairs, Taiwan, R.O.C (in Chinese).
- Lai, K.Y., Chen, Y.G., Chen, W.S., Hung, J.H. (2001) Active structures in Hsin-She, Central Taiwan: a case study of deformed terraces. *International Symposium on Earthquake and Active Tectonics (iSEAT1)*, Taipei, Taiwan, program proceeding, 155.
- Lin, Y.N. (2005) Surface deformation and seismogenic structure model of the 1935 Hsinchu-Taichung Earthquake ($M_{GR}=7.1$), in Miaoli, northwestern Taiwan. Master Thesis, Department of Geosciences, National Taiwan University, 77p.
- Robinson, R.A., Spencer, J.Q., Phillips, W.M., Strecker, M.R., Alonso, R.N., Kubik, P.W. (2003) Late Quaternary sedimentation and erosion rates derived from luminescence and cosmogenic nuclide dating of Intermontane Basin sediments, NW Argentine Cordillera. *Eos. Trans. AGU*, 84, 46, Fall Meeting, Suppl., Abstract.
- Spencer, J.Q., Robinson, R.A., Strecker, M.R., Richter, A. (2003) Quantifying sediment storage rates and history in the NW Argentine Cordillera using luminescence dating techniques. *Eos. Trans. AGU*, 84, 46, Fall Meeting, Suppl., Abstract.
- Wang, Y., Chen, Y.G., Shyu, J.B.H., Chuang, Y.R., Lin, Y.N., Chung, L.H. (2002) The active tectonic features in Taoyuan area, northwestern Taiwan. *Eos. Trans. AGU*, 83, 47, Fall Meeting, Suppl., Abstract.
- Watanuki, T., Chen, Y.G. (2003) Using optical dating to assess the recent activity of active faults in Hsinchu area, northwestern Taiwan. *Eos. Trans. AGU*, 84, 46, Fall Meeting, Suppl., Abstract.

Wu, D. J., Chen, Y. G., Liu, T. K. (1993) Sedimentary history and neotectonic implications of Tainan Formation on Tainan Tableland. Ti-Chih 12, 2, 167-184 (in Chinese with English abstract).

三、計畫成果自評。

目前計畫進行成果與目標相符，已對台灣西南部分區進行斷層活動性的研究，目前大致分為桃竹、台中苗栗、與嘉南地區，初步結果與討論也將於今年七月之第十一屆國際螢光及電子自旋定年會議(11th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating)中發表，除了將台灣地區的最新研究成果與各國專家學者討論，並可進一步了解研究方法之最新發展情形。

本實驗室僅擁有一台光螢光定年儀，用於進行新期構造方面的定年工作，由於年代資料的需求日益增加，單一儀器已明顯不勝負荷，因此本年度計畫執行期間預計採購另一新式光螢光定年儀，目前已訂購完成，預計於十月底前驗收完畢，期待於下個年度計畫加入運作。于儀器採購的同時，已將剩餘經費變更持續簽購三維模型處理軟體(GOCAD)，用於建立相關斷層的三維構造模型，將可了解地下構造的延伸，如此結合地表與地下結果，希望能一窺主要活動構造的全貌，進而了解活動機制與行為。

由於本年度預計將國外研究對象變更為大陸構造頻繁地區，已提出變更計畫要求，期望可對不同地區之地質資料進行比對工作，擴大研究架構與視野，將先前與美國地質調查所合作學習之經驗，應用於地質背景較為相近之地區，以獲得較高應用價值之研究成果。