

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

車籠埔斷層活動相關之光螢光法年代學研究(2/2)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2119-M-002-024-

執行期間：91年08月01日至93年01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

計畫參與人員：陳雅雯

報告類型：完整報告

報告附件：國外研究心得報告

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 93 年 4 月 15 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※ (地震及活斷層研究)-地震地質- ※

※ 車籠埔斷層活動相關之光螢光法年代學研究 ※

※OSL geochronological study on relevant problems of the Chelungpu fault※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 90-2119-M-002-009

NSC 91-2119-M-002-024

執行期間： 90年 8月 1日至 93年 1月 31日

計畫主持人： 陳于高教授

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

執行單位：國立台灣大學地質科學系

中華民國 93年 3月 18日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

(地震及活斷層研究)-地震地質-

車籠埔斷層活動相關之光螢光法年代學研究

OSL geochronological study on relevant problems of the Chelungpu fault

計畫編號：NSC 90-2119-M-002-009

NSC 91-2119-M-002-024

執行期限：90年8月1日至93年1月31日

主持人：國立台灣大學地質科學系陳于高教授(ygchen@ccms.ntu.edu.tw)

計畫參與人員：國立台灣大學地質科學系陳雅雯(f90224212@ntu.edu.tw)

一、中文摘要

本計畫著眼於地震地質與活斷層運動學之整合型計畫對於地質年代的需求，所採用之方法以90年代快速發展之光螢光定年法，希望藉此方法於晚更新世年代範圍中的優勢，延長碳十四法所不能達到的極限，另外亦可補足無法連續取得樣本的困擾。

地震地質與活斷層運動學研究的主題，不外乎同震活斷層再發週期的研究，以及活斷層長期之滑移速率的探討，這些與時間相關的課題，都需要有良好的年代學研究來加以配合，傳統上碳十四定年法是最主要的手段，但其使用上有諸多限制，例如標本取得不易及年代上限僅及五萬年，都不足以滿足相關研究的需要。光螢光定年法近年來積極的發展，可以改善年代學在上述問題方面的缺憾，如它的定年上限至少可達十五萬年之久，所使用樣本為最常見的石英與長石顆粒，又不似熱螢光法受限於環境易有曬退不完全的疑慮，再加上分析效率高，相對成本較低，其可行性自不在話下。

本計畫初步規劃優先配合古地震研究中槽溝開挖的工作，輔以河階之定年並配合其他地形學研究以達整合之目的，其中槽溝的開挖以車籠埔斷層沿線為主要目標，河階定年則是由北往南逐年進行，保守估計至少有一百五十個光螢光年代可於三年執行計劃期間完成，希望能對地震地質與活斷層運動學的研究，做出具體的貢獻。

關鍵詞：地震地質、活斷層、光螢光法、槽溝、河階

Abstract

This proposal will focus on age determination, which is eagerly needed in the integrated project "Earthquake Geology and Kinematics of Active Faults". Adopted method is Optical Stimulated Luminescence (OSL) method, which has been rapidly developed during 90's. Hopefully the advantage of this method in dating limit can help us extending our

knowledge into much older past. It is also expected that the advantage in sampling would fill up age void during late Pleistocene.

The major subjects on earthquake geology and kinematics of active fault are recurrence interval of coseismic faulting and long-term slip rate. These time related subjects need to cooperate with useful geochronological study. In the past, radiocarbon method was commonly used; however, its short dating limit and restricted sample requirement made widely using unable. On the other hand, recent progress on OSL method seems able to make up these deficiencies. Its oldest limit can reach 150ka. Its dating materials are common minerals that are widely distributed elsewhere in sediments. Furthermore, not like TL method, it is applicable to sediments collected from different sedimentary environments. One more advantage worthwhile to mention is its highly efficient analyzing processes. It further results in a relative low cost. All these above-mentioned advantages indicate that the OSL method is unequivocally useful.

During the coming year, this project plans to firstly collaborate with the other principal investigators who are working paleoseismology, the trenching excavation along the chelungpu fault. The second goal is to work on samples collected from river terraces, which can provide more age data to decipher the neotectonics in central Taiwan. Hopefully, this project can provide at least 150 OSL ages in coming three years to help understanding more details regarding to earthquake geology and kinematics of active faults in central Taiwan.

Keywords: earthquake geology, active fault, OSL, trench, river terrace

二、緣由與目的

台灣地處碰撞造山帶，地震與地殼活動是威脅我們正常生活及生命財產最大的劊子手，1999年9月21日所發生的集集大地震再一次提醒了我們活動斷層的重要性，深入且清楚的研究活動斷層

的位置與活動性，是科學家責無旁貸的使命。

在活動斷層活動性的研究當中，年代學是不可或缺的一部份，常用的定年方法有碳十四定年法、鈾系不平衡定年法、氫氫及鉀氫定年法等，上述方法雖然都有較高的精確度，但在適當的樣本取得方面，卻總不能盡如人願，因此使用沈積物中最主要的石英、長石為主要測試對象的螢光定年法(Aitken, 1985; 1998; Lamothe and Auclair, 1999; Prescott and Robertson, 1997; Stokes, 1999; Chithambo and Galloway, 2000)，便是解決標本不足、年代缺失的最佳選擇。近年來光螢光定年儀器的改良，使得該法對於適用的樣本選擇更具多樣性，年代的範圍更寬廣，定年的精度也大幅提昇(McKeever *et al.*, 1997; Murray and Roberts, 1997; Rhodes and Bailey, 1997; Duller *et al.*, 2000)，終於能在年代學的領域中與其他成熟而且已廣為應用的方法相提並論(Stokes *et al.*, 1997; 1998)。

光螢光法蛻變自為陶器定年量身訂製之熱螢光法，可解決熱螢光定年法應用於沈積物時起始點的不確定與標本的敏化問題(Murray and Olley, 2002)，新式的光螢光定年儀更增加藍光、綠光與紅外雷射激發源(Murray, 1996; Rieser *et al.*, 1999; Bøtter-Jensen *et al.*, 2000)，適用的標本種類更為廣泛(Yoshida *et al.*, 2000)。台灣大學地質科學系於1994年引進第一套定年專用的熱螢光儀器，現已完成三位碩士研究生論文，並於國內外會議、期刊發表數篇文章，從事國內第四紀地質的定年工作，協助中央地質調查所做岩心標本的年代測定，針對考古陶片的研究，與中央研究院歷史語言研究所、台灣大學人類學系及台北、宜蘭、台東等縣政府單位合作，均有關於遺址研究的年代測定。

古地震學的年代需求往往都是沖積層與崩積層為主的材料(Porat *et al.*, 1996)，碳十四定年法受樣本尋求不易的影響，光螢光法可提供快速且有效的資訊。再者，活動斷層長期滑移速率的取得，是在斷層活動性研究上不可或缺的資料(Toyoda *et al.*, 2000)，利用古地形(如河階面)之生成年代來演繹其結果也是常用的手段(Balescu *et al.*, 1997; Porat *et al.*, 1997; Tanaka *et al.*, 2000; Lehmkuhl *et al.*, 2000)，故而河階上覆河相沈積的定年就成了關鍵。本研究第一年將針對車籠埔斷層相關河階以及配合古地震開挖之槽溝，進行光螢光法年代學研究，希望能提供有價值之年代學結果，使台灣地震地質之研究能更進一步。

三、結果與討論

1. 儀器簡介:

本計劃所購買的光螢光定年儀之系統為Automated TL/OSL Dating System(Model RISØ TL/OSL-DA-15B/C; Fig. 1)，由丹麥的 RISØ National Laboratory 所製造，儀器改進後的優點為：1.以藍色發光二極體(LED)取代原有的鹵素燈泡---激發速度較原始儀器快三倍；2.以雷射紅外線取代紅外線發光二極體(LED)---使長石訊號激發完全並增高靈敏度；3.另外增加一螢光計讀器，可讀取

532nm 的雷射光束訊號---在測試單顆粒礦物時無須更換激發源。

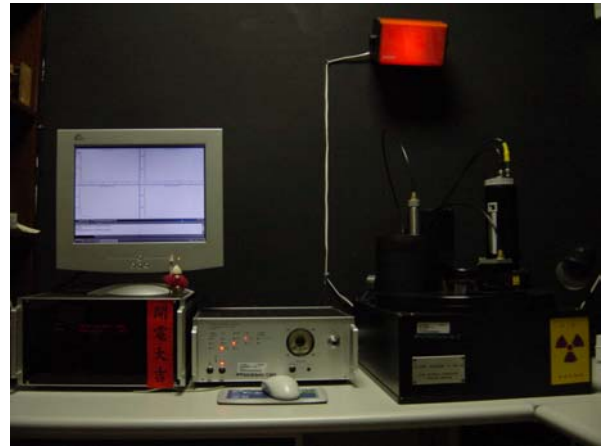


Figure 1. 光螢光定年儀。

2. 放射源的申購與操作:

本儀器中包含有兩種放射源，分別為提供 α 射線的 Am-241 和提供 β 射線的 Sr-90，在整個自動化的操作過程中，兩射源對於標本的輻射控制精準，經測試後，鄰近主測試標本的非測試標本影響比例為 $0.1735 \pm 0.0004\%$ ，因此在整體操作便利性與實驗精準度的功能增強許多。

由於兩者均屬於管制性的輻射物質，因此必須向原子能科學委員會申請使用執照，為合乎使用操作環境的要求，實驗室的暗房規劃與整理均經過詳細的安排，對於使用者的安全顧慮，則申請固定的人員輻射劑量徽章加以監控，並督促使用者參與專業之輻射防護講習，了解不當使用的後果，對於整個實驗室的安全防護，均符合原子能科學委員會之標準。

3. 實驗方法:

由於光螢光定年法對於光照的敏感度極高，因此在暗房的設備方面來說，就必須依據我們所測定的礦物來作規劃，現在我們所使用的光源均採用標準暗房之安全燈(ILFORD Safelight)，針對石英和長石礦物所做的選擇，使得標本的前處理過程中，不會有任何的訊號遺失情況。

由於先前的熱螢光機器無法進行單一片子的古劑量回推工作，因此必須採取細顆粒(4~11 μm)礦物，並假設標本於數十片子的訊號是均勻固定的，才能經由多次測試後獲得一個古劑量值，也由於礦物顆粒小，無法得到單一礦物的訊號，一直無法將誤差值降低。目前礦物的分離方面，利用現在新開發的重液粉末(Sodium Polytungstate)可免除有機溶液對於人體的傷害，是屬於水溶性物質，使用上較先前方便。再者，由於使用單一礦物的測定，在顆粒度上就可做不同的分別，試驗出可行的顆粒範圍，現在一般均分為 90~125 μm 、125~150 μm 、150~250 μm 等三種顆粒範圍。

測試步驟在儀器改良後，便吸引世界各國更多人力投入研究，不論是石英或長石，在標本訊號的分離與敏感度研究方面不計其數，因此在計劃進

行中便採用目前最廣泛使用的單片再生法 (Single-Aliquot Regenerative dose protocol; Murray and Wintle, 2000)，分別針對岩心標本、槽溝標本與河階標本作測試，並培養博士班學生熟悉整個處理過程，比較台灣之沉機物標本與國外發表之標本訊號差異，確實掌握不同標本的處理流程。

4. 結果與討論:

分別就三部分標本進行論述:

i. 岩心標本:

本計畫初期必須有序列性的標本測試結果，來建立一套標準的標本的處理流程，因此選擇地調所地下水觀測網所鑽取的岩心標本，期盼從事光螢光定年的測試，與岩心序列中已知的碳十四定年資料相互比對，來確定其方法與標本訊號穩定性等資料。其外，便是希望於傳統的岩性對比之下可以得到更多年代數據的佐證，對於古沉積體系的變化能有較準確的推論。

採樣位置為台灣西南平原的五口井(Fig. 2)，共得到年代資料 23 筆(Fig. 3)。經過三種基本方法的測試(預熱坪區(Preheat Plateau)、劑量再生性(Dose Recovery)、成長曲線(Growth Curve)，可以了解在研究中所使用的石英礦物性質相當良好，因此也可推論對於整個西南平原中所有的岩心標本，均可使用相同的處理流程來進行年代的測定。



Figure 2. 採樣位置圖。採樣井位:HK-新港、MCH-馬稠後、TY-總爺、TW-大文、SF-十分。

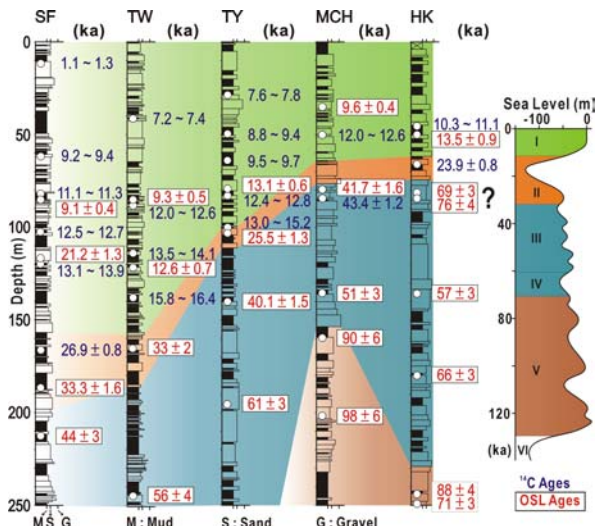


Figure 3. 岩性層序與年代資料表。碳十四年代-藍色(經過樹輪和

湖底沉積物的校正(Kitagawa et al., 1998))、光螢光年代-紅色。

由岩性層序與年代資料來看，以全球海水面變化的分界來作基本的劃分比對，則可以看出馬稠後地區約在 Marine Isotope Stage 5 之前為相對高區，而本區的沉降中心應位於研究區域之西南方。

ii. 槽溝標本:

第二階段開始著手進行槽溝標本的測試，配合先前國科會計畫中之新竹篤行營區槽溝，於槽溝內共採集四樣本(Fig. 4)，標本的處理流程與上述方法相同，同樣測試各個標本的光螢光訊號穩定性。

對於古地震與斷層活動性研究來說，缺乏良好的年代控制，往往使得研究進度停滯不前，因此使用石英與長石的光螢光定年法，在實驗室的設置完成與各項標本的測試成功後，將會是研究斷層活動性的一大福音。

實驗得槽溝標本之年代資料，由上到下分別為 35.4ka、63.4ka、66.9ka 及 63.4ka，說明了該階地應形成於 63 至 67ka 之前，而上覆年輕樣本應為頭前溪北移後，臨近地區小水系沖積而來。

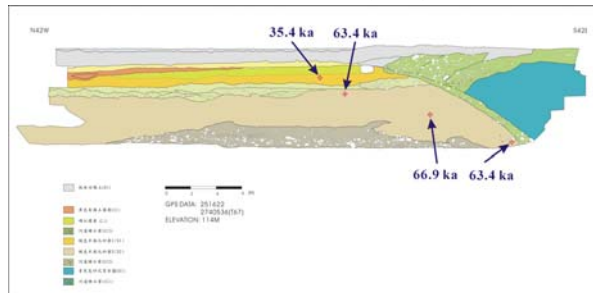


Figure 4. 新竹科學園區篤行營區一號槽溝之標本採樣點及年代。

iii. 河階標本:

第三階段則開始進行河階標本的研究，測量三個草屯變形階地標本的光螢光年代(Fig. 5)，並配合車籠埔斷層下盤與階地東方低位之鑽井標本資料，期望獲得草屯變形階地之抬升速率。

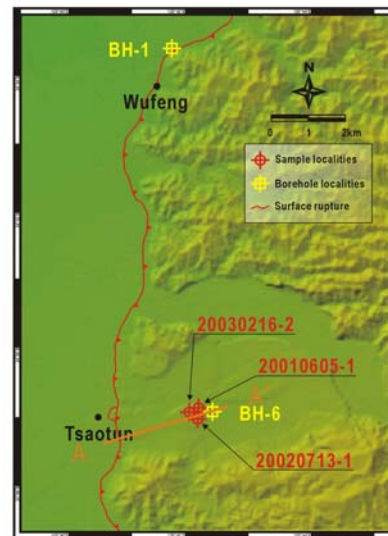


Figure 5. 採樣位置圖。鑽井位置: BH-1-霧峰、BH-6-草屯; 河階標本編號: 20010605-1、20020713-1、20030216-2。

車籠埔斷層於草屯地區的構造情況，可由剖面圖(Fig. 6)中大致了解，利用階面與斷層下盤的垂直高差，配合變形階地東西方的鑽井年代資料，以等時面的垂直高度差異，計算出整個階地的長時間垂直位移速率，變形階面相對於車籠埔下盤為2.4-2.9m/ka，同樣的，相對於階地東方地位的褶皺柴升情況，其相對垂直位移速率則為1.5-1.8m/ka。

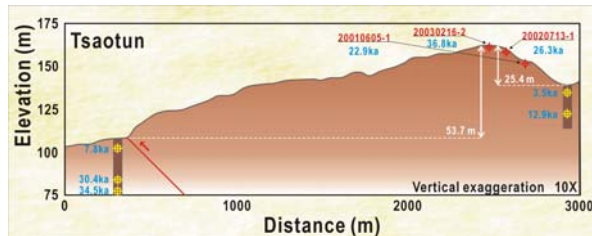


Figure 6. 草屯變形階地剖面圖與年代資料表。

四、成果自評

1. 工作完成項目：

- i. 光螢光定年儀架設完成，並開始進行標本測試。
- ii. 培養博士班學生陳雅雯至丹麥國家實驗室進行人員訓練，熟悉基本的儀器操作與標本處理流程。
- iii. 與世界各光螢光研究室建立良好的溝通管道，確實掌握國際發展趨勢。
- iv. 在兩年的計畫時間中，完成約 50 個光螢光年代資料。
- v. 已將研究成果發表於國際期刊中。

2. 發表文章：

- Chen, Y.G., Chen, W.S., Wang, Y., Lo, P.W., Lee, J.C., and Liu, T.K. (2002) Geomorphic evidence for prior earthquakes: Lesson from the 1999 Chichi earthquake in central Taiwan. *Geology* 30, 2, 171-174.
- Chen, Y.G., Chen, Y.W., Chen, W.S., Zhang, J.F., Zhao, H., Zhou, L.P. and 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., 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.

3. 未來發展方向：

經過兩年計畫的研究，對光螢光定年法已有一定的認識與初步的結果，活動斷層方面的研究是刻不容緩的，對於年代資料的需求更是日益增加，因此急需增購一台光螢光定年儀，提供足夠的年代資料，加速台灣的研究腳步。

此外，增購儀器除了滿足地質應用上的需求外，對於螢光訊號的物理性質研究，亦可有極大的

幫助，更能針對不同地區、不同環境的地質標本，提供最佳的處理流程，精準的掌控年代的準確性。

五、參考文獻

- Aitken, M. J. (1998) *An Introduction to Optical Dating*. Academic Press, London, 267p.
- Aitken, M. J. (1985) *Thermoluminescence Dating*. Academic Press, London, 359p.
- Balescu, S., Dumas, B., Guérémy, P., Lamothe, M., Lhénaff, R., Raffy, J. (1997) Thermoluminescence dating tests of Pleistocene sediments from uplifted marine shorelines along the southwest coastline of the Calabrian Peninsula (southern Italy). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 130, 25-41.
- Bøtter-Jensen, L., Bulur, E., Duller, G.A.T., and Murray, A.S. (2000) Advances in luminescence instrument systems. *Radiation Measurements* 32, 523-528.
- Chithambo, M.L., Galloway, R.B. (2000) On luminescence lifetimes in quartz. *Radiation Measurements* 32, 621-626.
- Duller, G.A.T., Bøtter-Jensen, L., Murray, A.S. (2000) Optical dating of single sand-sized grains of quartz: sources of variability. *Radiation Measurements* 32, 453-457.
- Kitagawa, H., van der Plicht, J. (1998) Atmospheric radiocarbon calibration to 45,000 yr B.P. : Late glacial fluctuations and cosmogenic isotope production. *Science* 279, 1187-1189.
- Lamothe, M., Auclair, M. (1999) A solution to anomalous fading and age shortfalls in optical dating of feldspar minerals. *Earth and Planetary Science Letters* 171, 319-323.
- Lehmkuhl, F., Klinge, M., Rees-Jones, J., Rhodes, E.J. (2000) Late Quaternary Aeolian sedimentation in central and south-eastern Tibet. *Quaternary International* 68-71, 117-132.
- McKeever, S.W.S., Agersnap Larsen, N., Bøtter-Jensen, L., Mejdahl, V. (1997) OSL sensitivity changes during single aliquot procedures: computer simulations. *Radiation Measurements* 27, 75-82.
- Murray, A.S., Olley, J.M. (2002) Precision and accuracy in the optically stimulated luminescence dating of sedimentary quartz: a status review. *Geochronometria* 21, 1-16.
- Murray, A.S., Wintle, A.G. (2000) Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements* 32, 57-73.
- Murray, A.S., Roberts, R.G. (1997) Determining the burial time of single grains of quartz using optically stimulated luminescence. *Earth and Planetary Science Letters* 152, 163-180.
- Murray, A.S. (1996) Developments in optically stimulated luminescence and photo-transferred thermoluminescence dating of young sediments: Application to a 2000-year sequence of flood deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60,

4, 565-576.

- Porat, N., Zhou L.-P., Chazan, M., Noy, T., Horwitz, L.K. (1997) Dating the lower Paleolithic open-air site of Holon, Israel by luminescence and ESR techniques. *Quaternary Research* 51, 328-341.
- Porat, N., Wintle, A.G., Amit, R., Enzel, Y. (1996) Late Quaternary earthquake chronology from luminescence colluvial and alluvial deposits of the Arava Valley, Israel. *Quaternary Research* 46, 107-117.
- Prescott, J.R., Robertson, G.B. (1997) Sediment dating by luminescence: a review. *Radiation Measurements* 27, 893-922.
- Rhodes, E.J., Bailey, R.M. (1997) The effect of thermal transfer on the zeroing of the luminescence of quartz from recent glaciofluvial sediments. *Quaternary Science Reviews (Quaternary Geochronology)* 16, 291-298.
- Rieser, U., Habermann, J., Wagner, G.A. (1999) Luminescence dating: A new high sensitivity TL/OSL emission spectrometer. *Quaternary Geochronology* 18, 311-315.
- Stokes, S., Colls, A.E.L., Fattahi, M., Rich, J. (2000) Investigations of the performance of quartz single aliquot D_e determination procedures. *Radiation Measurements* 32, 585-594.
- Stokes, S. (1999) Luminescence dating applications in geomorphological research. *Geomorphology* 29, 153-171.
- Stokes, S., Thomas, D.S.G., Shaw, P.A. (1997) New chronological evidence for the nature and timing of linear dune development in the southwest Kalahari Desert. *Geomorphology* 20, 81-93.
- Stokes, S., Haynes, G., Thomas, D.S.G., Horrocks, J.L., Higginson, M., Malifa, M. (1998) Punctuated aridity in southern Africa during the last glacial cycle: The chronology of linear dune construction in the northeastern Kalahari. *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology* 137, 305-322.
- Stokes, S., Kocurek, G., Pye, K., Winspear, N.R. (1997) New evidence for the timing of Aeolian sand supply to the Algodones dunefield and East Mesa area, southeastern California, USA. *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology* 128, 63-75.
- Tanaka, K., Hataya, R., Spooner N.A., Questiaux, D.G., Saito, Y., Hashimoto, T. (1997) Dating of marine terrace sediments by ESR, TL and OSL methods and their applicabilities. *Quaternary Science Reviews (Quaternary Geochronology)* 16, 257-264.
- Toyoda, S., Rink, W.J., Schwarcz, H.P., Rees-Jones, J. (2000) Crushing effects on TL and OSL on quartz: relevance to fault dating. *Radiation Measurements* 32, 667-672.
- Yoshida, H., Roberts, R.G., Olley, J.M., Laslett, G.M., Galbraith, R.F. (2000) Extending the age range of optical dating using single "supergrains" of quartz. *Radiation Measurements* 32, 439-446.