

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

台灣車籠埔鑽井研究 - 岩芯描述、岩芯處理和分析

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2119-M-002-006-

執行期間：92年03月01日至93年12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：宋聖榮

共同主持人：李德貴，楊燦堯，胡植慶，盧佳遇

報告類型：完整報告

報告附件：國外研究心得報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 5 月 13 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

台灣車籠埔鑽井研究—岩芯描述、岩芯處理和分析

Taiwan Chelungpu Drilling Project --- Core Descriptions, Handling and Measurements

計畫編號：NSC 92-2119-M-002-016

執行期限：92 年 3 月 1 日至 93 年 12 月 31 日

主持人：宋聖榮 國立臺灣大學地質學系

一、中文摘要

研究斷層帶上圍岩和與斷層相關岩石的種類、分布、性質和成因，以及流體的影響，對於解開地震斷層發震帶的地質材料特性和力學行為、斷層帶上岩石的成因，以及引發地震可能機制有相當大的助益。台灣位於年輕的造山帶上，活動斷層遍布全島，百年來由活動地震斷層所引發的大地震，造成的人員傷亡和財產損失，都讓人怵目驚心，尤其 1999 年集集大地震的發生，更令人記憶猶新。但過去台灣對於斷層帶上圍岩和與斷層相關岩石的研究，則相當的缺少。1999 年車籠埔斷層發生劇烈的逆衝活動，提供了學界從地表露頭至鑽取深井岩芯，研究斷層帶和引發地震可能機制等相關問題的絕佳機會。

台灣車籠埔斷層深鑽計畫從 2004 年初開鑽，至 2004 年底完成 A 井 2000 公尺的岩芯取樣，又從 2005 年 2 月中開始 B 井的鑽探。A 井的岩芯描述顯示，車籠埔斷層帶位於深度 1111 公尺左右，深度 1701 公尺處為三義斷層，出露地層有卓蘭層、錦水頁岩和桂竹林層等。

關鍵詞：斷層岩石、車籠埔斷層、台灣車籠埔斷層深鑽計畫、地質微生物、氣體連續監測

Abstract

Knowledge of the distribution, deformation and genesis of fault-related rocks and fluids within the fault zone are important to understand the characteristics of geological materials and earthquake origin in seismogenetic zone. Taiwan is located in the orogenic belt, which the active faults are widely distributed in this island. Damaged earthquakes, i.e. 1999 Chichi earthquake, occurred frequently in past hundreds years and caused vast amounts people death and properties lost. However, the researches were scarce in Taiwan for those topics. The Chelungpu thrust fault moved in 1999 provides a good opportunity to study the characteristics and origins of fault-related rocks and seismogenetic zones from the surface outcrops to subsurface drilling cores.

The 2000 m deep Hole-A coring has been finished in the end of 2004, and then the Hole-B begins drilling in the February of 2005. Three Formations have been drilled through. They are the Cholen, Chinshui and Kueichulin Formations. Meanwhile the Chelungpu and Sanyi fault have been found in the depth of 1111 m and 1710 m, respectively.

Keywords: Fault rocks, Chelungpu fault, Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project, Geomicrobiology, On-line gas monitoring

二、緣由與目的

由斷層所引發的地震，是目前人類已知的自然災害中，破壞性最大、影響範圍最廣、最無法預測和掌握的災害。翻開過去人類所遭遇過的地震災害紀錄中，如東京大地震、舊金山大地震、唐山大地震、墨西哥大地震、神戶大地震，以及集集大地震，所造成人類的生命和財產的損失，是其他自然災害所無法相比的。地震之所以可怕，在於他的不可預測性，以及到目前為止，對於地震發生的原因和發震帶的性質都不甚了解的緣故。一般而言，破壞性大地震的發震帶大都發生在上、中部地殼內（約 15 公里深度內）（Sibson, 1986; Scholz, 1988），而目前的科技無法直接探測那麼深地殼內的岩石性質，要研究發震帶的岩石性質和特性，唯有等他們抬升到地表淺處或露出地表後，才得以研究，但此時斷層帶上的岩石或多或少遭受到後來流體作用的影響，而改變原有的性質。為盡量減少流體對斷層帶岩石的影響，在大地震後直接鑽取不等深度斷層帶上的岩石，研究其組成和特性，以及流體的性質等，可以提供資料以了解該地區斷層的特性和力學行為、斷層帶上岩石的成因，以及引發地震的可能機制。

日本 1995 年曾發生規模 7.2 的 Kobe 地震，其是由 Nojima 斷層活動所引發的，地震過後，日本國家地球科學和災害防治研究所（National Research Institute for Earth Sciences and Disaster Prevention, NIED）規劃鑽取三口深井，分別為 1001 公尺，1313 公尺和 1838 公尺深的岩芯，以研究斷層帶的各種特性，獲得不錯的研究成果，業已出版專輯（Ando, 2001; Tanaka and Hinoki, 2001; Ohtani and Tanaka, 2001; Fujimoto and Tanaka, 2001; Kobayashi and Hirano, 2001; Matsuda and Arai, 2001; Arai and Okusawa, 2001; Uda and Lin, 2001; Tagami and Hasebe, 2001; Fukuchi and Imai, 2001）。1999 年車籠埔斷層發生劇烈的逆衝活動，提供了台灣學界從地表露頭到不等深度的鑽井岩芯，研究斷層帶上的演變過程和引發地震可能機制等種種問題的絕佳機會。另 Nojima 斷層帶的圍岩為堅硬的花崗

岩，而車籠埔斷層帶的圍岩為較鬆軟的泥岩或粉砂岩，故鑽井取岩芯研究車籠埔斷層帶的特性結果，可與日本 Nojima 斷層帶上的性質相比較，進一步探討斷層帶的圍岩，對於形成斷層帶上的岩石種類、構造和地震成因的影響。

台灣車籠埔鑽井計劃 (Taiwan Chelungpu Drilling Project, TCDP) 在過去兩、三年中，受到國際大陸科學深鑽計劃 (International Continental Scientific Drilling Program, ICDP) 和 2001 年東亞地體構造國際研討會 (International Symposium of East Asian Tectonics, iSEAT) 的支援下，舉辦多次研討會討論車籠埔鑽井計劃的可行性和科學目標，再配合日本科學會 (Japan Science Technology Agency, JSTA) 和台灣國科會 (National Science Council of Taiwan, NSC) 合作於車籠埔斷層北段及南段各鑽一口約 300~400 公尺淺井的結果，獲得台灣車籠埔鑽井計劃的科學目標明確、可行性相當高的結論。故車籠埔斷層深鑽研芯的取得，可用以檢驗 Scholz (1988) 斷層剪切帶的模式，更進一步的了解車籠埔斷層帶上與斷層有關的岩石形成機制，並評估流體在斷層作用的角色。

車籠埔斷層帶上鑽取深井岩芯的計畫中，要確保後續岩芯分析的成功，從岩芯的鑽取開始就必須考慮各種可能的狀況，且駐井地質師的岩芯描述品質要求要非常專業，並能對鑽取的岩芯做適當的取樣和處理，才能確保後續岩芯分析工作的品質。故岩芯鑽取過程中的駐井地質師，就必須和後續分析岩芯的學者保持密切的配合。

日本科學會和台灣國科會合作，於車籠埔斷層北段及南段各鑽一口約 300~400 公尺淺井，分析岩芯中的黏土礦物成分，發現約有 3-12% 的蒙脫石 (montmorillonite) (盧崇賓等人, 2002; 廖卿妃等人, 2002)，而筆者分析車籠埔斷層沿線上六個剖面地表露頭斷層帶上的圍岩和斷層泥中，均未發現有蒙脫石的含量 (宋聖榮未發表的資料)。蒙脫石主要是由火山物質風化而來，且很容易受到後來成岩作用的影響而變成高嶺土或伊萊石，而從卓蘭層和錦水頁岩的沉積環境、歷史和組成，蒙脫石存在於這兩個岩層的機率相當小。另鑽井過程中所用的鑽井泥，是用膨潤土，其主要組成就是蒙脫石，若岩層的孔隙大、連通率好的情形下，岩芯很容易受到鑽井所用的水和泥漿侵入污染。故筆者推測在豐原和南投所鑽的兩口井，其岩芯中含有蒙脫石的成分，可能是來自於鑽井過程中的污染。由其所發表的分析結果中，孔隙大、連通率好的砂岩中，蒙脫石的含量較高，孔隙小、連通率差的泥岩和斷層泥中的蒙脫石較少，亦可說明其可能是污染的結果。所以台灣車籠埔鑽井計劃對於鑽井過程中所用水和

泥，可能會對岩芯造成污染的問題，就不得不注意了。解決之道，就是在鑽井過程中，加入適當的追蹤劑，以評估污染的程度，作為岩芯分析後數據的修正之用。

本計畫的主要目的是配合台灣車籠埔鑽井計畫，規劃從事駐井岩芯描述所需的人力需求，以達到詳細精確岩芯地質資料的立即收集、評估鑽井過程中可能碰到岩芯的污染問題、現地鑽出岩芯後立即收集流體 (氣體和液體) 和生物地質標本等的分析、岩芯處理和岩石物理性質的量測、以及配合後兩年岩芯分析等工作。這些工作主要集中於前一年半完成，後兩年的工作則集中在從事岩芯的各種分析工作。

三、結果與討論

1、鑽井過程中所舉辦之研討會

在鑽井過程中對於岩芯分析所準備之國際研討會包括有岩芯分析研討會、岩芯取樣研討會等，其議程如表一和表二。

表一：TCDP 岩芯分析國際研討會議程

Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project (TCDP)
Investigation on the Physics and Chemistry of Fault Zone
Core Measurement Workshop, March 1st, 2004,
National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C
March 1st, 2004 Place: Conference Room

Time	Program	Moderator
08:30~09:00	Registration	
09:00~09:10	Opening Remarks	Dr. Ching-Hua Lo
09:10~09:40	Review of TCDP	Dr. Kuo-Fong Ma
09:40~10:10	Break	
10:10~11:10	Hydro-mechanical properties of Chelungpu and other active faults based on borehole core tests	Dr. Davis A. Lockner
11:10~12:10	Weakening mechanisms for faulting associated with large slip: hydromechanical constraints from laboratory measurements	Dr. Teng-Fong Wong
12:10~13:10	Lunch	
13:10~14:10	Deep Subsurface Microbial Ecosystems in Active Mountain Belts: A New Frontier?	Dr. Tullis C. Onstott
14:10~15:10	An emerging field of high-velocity friction and its implication for seismogenic fault motion	Dr. Toshihiko Shimamoto
15:10~15:40	Break	
15:40~16:40	Fault zone structure and physical properties in ODP cores of accretionary prisms: a review	Dr. Harold J. Tobin
16:40~17:40	Discussion	Dr. Sheng-Rong Song
18:00	Dinner Party	

March 2~3: Field trip to the drilling site

表二： TCDP 岩芯取樣國際研討會議程

Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project (TCDP)
 Sampling Party Workshop, October 18 and 19, 2004
 October 18&19, 2004 Place: CPC, Miaoli

Time	Program	Moderator
08:30~09:00	Registration	
09:00~09:20	Opening Remarks	Dr. Kao-Ann Lin & Yi-Ben Tsai
09:20~09:40	Introduction to Core measurements	Dr. Sheng-Rong Song
09:40~10:00	Lithology and Structures of TCDP Hole-A	Dr. En-Chao Yeh
10:00~10:20	Logging Results of TCDP Hole-A	Dr. Jih-Hao Hung
10:20~10:50	Break	
10:50~11:10	Preliminary Results of On-site Continuous Monitoring on Dissolved Gas Compositions of Drilling Mud Flow of TCDP	Dr. Frank Tsanyao Yang
11:10~11:30	Characterization of subsurface microbial communities from TCDP cores using culture-dependent techniques	Dr. Li-Hung Lin
11:30~11:50	Measurements of Thermal Properties in TCDP Hole-A	Dr. Hidemi Tanaka
11:50~12:10	Preliminary Results of Stress Measurements from Anelastic Strain Recovery (ASA) of TCDP Hole-A cores	Dr. Weiren Lin
12:10~13:30	Lunch	
13:30~14:30	Introduction and Demo to Core Splitting Procedures	Dr Shiuh-Tsann Huang
14:30~16:00	Core Inspection	CPC Staffs
16:00~17:00	Discussion	Dr. Sheng-Rong Song

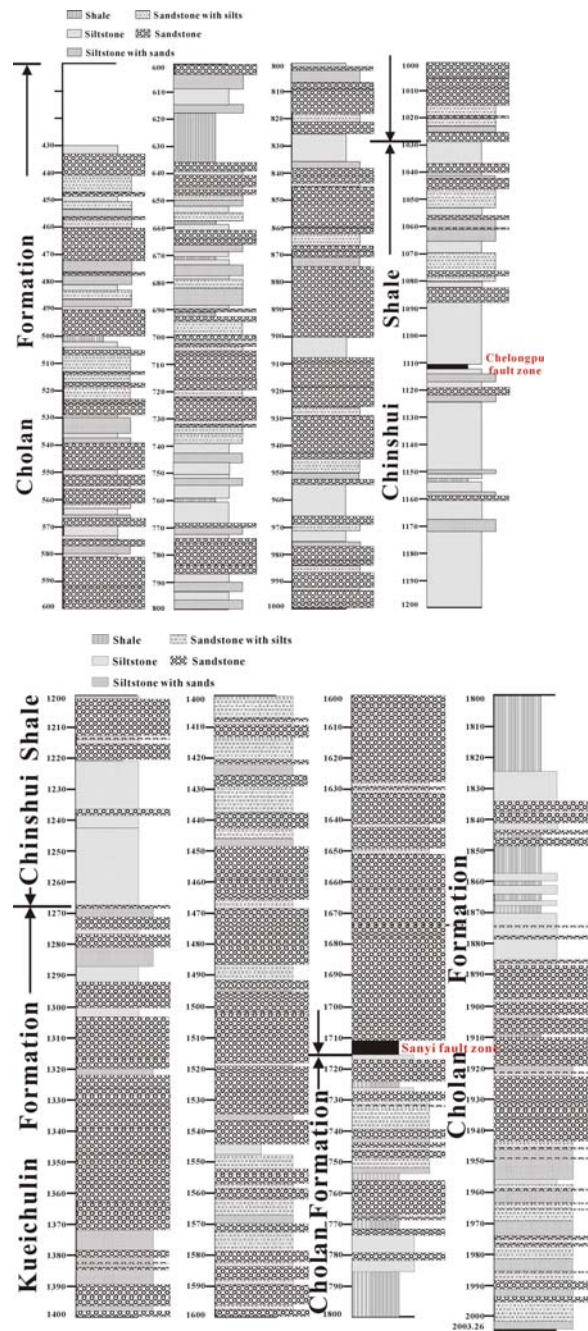
2、岩心描述結果

圖一 是台灣車籠埔斷層深鑽計畫 A 井 2000 公尺的岩性柱狀圖。深度從 0 公尺到 500 公尺是只鑽井而不取岩心，而只有每十公尺取岩屑以判定岩性，但因細粒的粉砂岩或泥岩容易磨細而不易取得岩屑，故利用鑽井岩屑來判定該十公尺的岩性誤差相當大。

從 500 公尺至 2002 公尺全程取岩芯，全長 1500 公尺共穿越卓蘭層、錦水頁岩和桂竹林層，然後再因斷層因素重複出現卓蘭層。卓蘭層主要是以砂岩和粉砂岩為主，生物擾動相當多且膠結相當好為其特色。錦水頁岩以粉砂岩為主，含少量的頁岩和砂岩層，同時也有少許的生物擾動現象。桂竹林層以砂岩為主，含少量的頁岩和粉砂岩層，膠結較差，部份岩段生物擾動現象明顯。兩各主要的斷層帶被

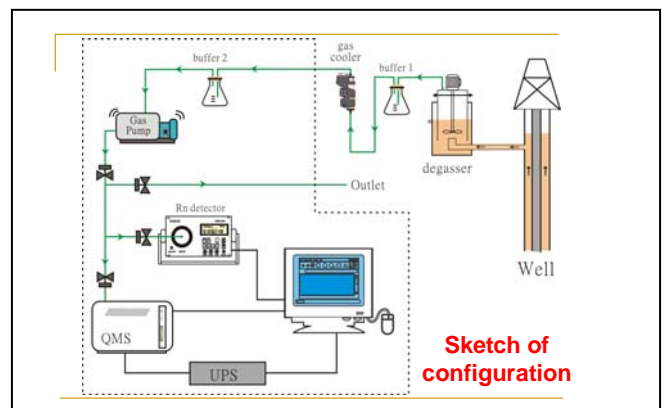
發現，深度 1111 公尺的斷層帶可能為車籠埔斷層帶，深度 1710 公尺的斷層帶可能為三義斷層帶。

圖一：台灣車籠埔斷層深鑽計畫 A 井岩性柱狀圖。

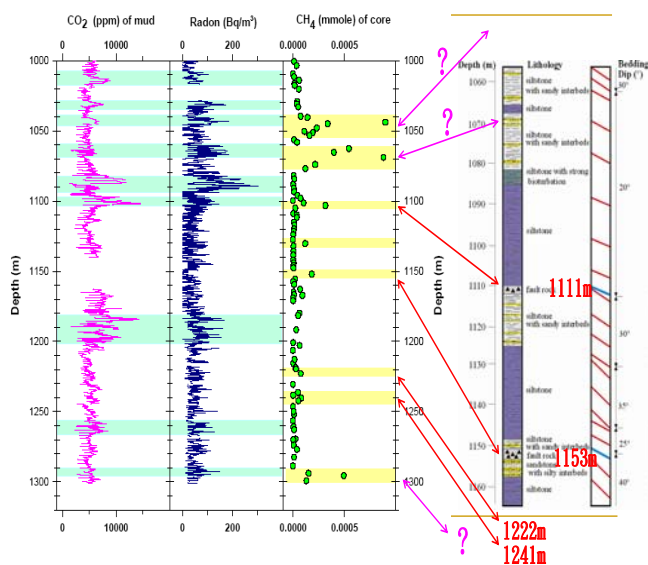


3、氣體連續監測

圖二：氣體監測儀器架構圖。



圖三：氣體監測結果。



4、地質微生物學研究

表三：台灣車籠埔斷層深鑽計畫所採岩芯微生物測試結果

Sample depth/lithology	Inoculated temperature/da	Fermentation	Methanogenesis	Iron reduction	Sulfate reduction	Sulfate reduction -H ₂	Sulfate reduction -Acet
462m/shale	30°C/Mar-16-0	+	n.d.	+?	+	+?	+
464m/sandston	30°C/Aug-21-0	+	+?	+	+	+	+
545.2m/shale	30°C/Jun-22-0	+	+?	+?	+	+	+
545.2m/sandst	30°C/Jun-23-0	+	+	+	+	+	+
545.6m/shale	30°C/Jun-23-0	+	n.i.	n.i.	+	+?	+?
690m/siltstone	40°C/Jul-07-04	+	+?	+?	+	+	+
694m/sandston	40°C/Jul-08-04	+	+	n.d.	+	+	+
694m/gouge	40°C/Jul-04-04	+	+	+?	n.d.	n.d.	n.d.
739m/shale	40°C/Jul-07-04	+	+?	+?	+	+	+
829m/siltstone	40°C/Aug-12-04	+	+?	+?	+	+	+
833m/siltstone	40°C/Aug-12-04	+	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
887m/siltstone	40°C/Aug-12-04	+	+?	+?	+	+	+
1033m/shale	40°C/Aug-13-04	+	n.d.	+?	+	+	+
1187m/shale	40°C/Oct-04-04	+	n.d.	+?	+	+	+
1284m/shale	40°C/Oct-04-04	+	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1287m/shale	40°C/Oct-04-04	+	n.d.	n.d.	+	n.d.	n.d.
1450m/shale	50°C/Nov-15-04	+	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1564m/sandstone	50°C/Nov-16-04	+	n.d.	n.d.	+	n.d.	n.d.
1565m/shale	50°C/Nov-16-04	+	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1675m/sandstone	50°C/Nov-16-04	+	n.d.	n.d.	+	n.d.	n.d.
1810m/gouge	50°C/Dec-05-04	+	n.d.	+	+	+	+

n.i.: no inoculation in this type of medium; n.d.: not detected yet

+: positive culture; +*: positive culture with isolates; +?:

positive for further confirm

五、參考文獻

Ando, M. (2001). "Geological and geophysical studies of the Nojima Fault from drilling: An outline of the Nojima Fault Zone Probe." *Island Arc* 10(3-4): 206-214.

Arai, T., T. Okusawa, et al. (2001). "Behavior of gases in the Nojima Fault Zone revealed from the chemical composition and carbon isotope ratio of gases extracted from DPRI 1800 m drill core." *Island Arc* 10(3-4): 430-438.

Bonilla, M.G. (1975) A review of recently active faults in Taiwan: U. S. Geological Survey Open File Report, no.75-41, 58p.

Fujimoto, K., H. Tanaka, et al. (2001). "Alteration and mass transfer inferred from the Hirabayashi GSJ drill penetrating the Nojima Fault, Japan." *Island Arc* 10(3-4): 401-410.

Fukuchi, T. and N. Imai (2001). "ESR and ICP analyses of the DPRI 500 m drill core samples penetrating through the Nojima Fault, Japan." *Island Arc* 10(3-4): 465-478.

Knipe, R.J. (1989) Deformation mechanisms – recognition from natural tectonics: *J. Structural Geology* 11, 127-146.

Kobayashi, K., S. Hirano, et al. (2001). "Distribution of fault rocks in the fracture zone of the Nojima Fault at a depth of 1140 m: Observations from the Hirabayashi NIED drill core." *Island Arc* 10(3-4): 411-421.

Magloughlin, J.F. and Spray, J.G. (1992) Frictional melting processes and products in geological materials: introduction and discussion: *Tectonophysics* 204, 197-204.

Matsuda, T., T. Arai, et al. (2001). "Examination of mineral assemblage and chemical composition in the fracture zone of the Nojima Fault at a depth of 1140 m: Analyses of the Hirabayashi NIED drill cores." *Island Arc* 10(3-4): 422-429.

Ohtani, T., H. Tanaka, et al. (2001). "Internal structure of the Nojima Fault zone from the Hirabayashi GSJ drill core." *Island Arc* 10(3-4): 392-400.

Schmid, S.M. (1983) Microfabric studies as indicators of deformation mechanisms and flow laws operative in mountain building: In Hsu, K.J. ed., *Mountain Building Processes*: New York, Academic Press, 95-110.

Scholz, C.H. (1988) The brittle-plastic transition and the depth of seismic faulting: *Geologische Rundschau* 77, 319-328.

Scholz, C.H. (1990) The mechanics of earthquakes and faulting: New York, Cambridge University Press, 439p.

Sibson, R.H. (1975) Generation of pseudotachylite by ancient seismic faulting: *Geophysical J. Royal Astronomical Soc.* 43,

775-794.

- Sibson, R.H. (1977) Fault rocks and fault mechanisms: *J. Geological Soc. London* 133, 191-213.
- Sibson, R.H. (1986) Earthquakes and rock deformation in crustal fault zones: *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences* 14, 149-175.
- Sibson, R.H. (1989) Earthquake faulting as a structural process: *J. Structural Geology* 11, 1-14.
- Tagami, T., N. Hasebe, et al. (2001). "Thermal anomaly around the Nojima Fault as detected by fission-track analysis of Ogura 500 m borehole samples." *Island Arc* 10(3-4): 457-464.
- Tanaka, H., S. I. Hinoki, et al. (2001). "Deformation mechanisms and fluid behavior in a shallow, brittle fault zone during coseismic and interseismic periods: Results from drill core penetrating the Nojima Fault, Japan." *Island Arc* 10(3-4): 381-391.
- Williams, P.F., Goodwin, L.B. and Raiser, S. (1994) Ductile deformation processes: In Hancock, P.L., ed. *Continental Deformation*: Oxford, Pergamon Press, 1-27.
- Yamano, M. and S. Goto (2001). "Long-term temperature monitoring in a borehole drilled into the Nojima Fault, southwest Japan." *Island Arc* 10(3-4): 326-335.
- Uda, S. I., A. M. Lin, et al. (2001). "Crack-filling clays and weathered cracks in the DPRI 1800 m core near the Nojima Fault, Japan: Evidence for deep surface-water circulation near an active fault." *Island Arc* 10(3-4): 439-446.