

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

華夏古陸變質基底之年代學探討：浙閩變質基底與台灣西部 沈積物來源之關聯 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2116-M-002-016-
執行期間：95年08月01日至96年09月30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：陳正宏
共同主持人：李寄嶠
計畫參與人員：學士級-專任助理：張月鳳
 博士班研究生-兼任助理：謝佩珊

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 96 年 11 月 12 日

一、前言

華南陸塊是亞洲大陸上一個很重要的地質單元，由揚子地塊與華夏地塊組成，這兩地塊大體以紹興—江山—萍湘—橫陽—憑祥大斷裂為界（趙風清，1999）。華夏地塊前寒武變質岩系主要出露在閩西北—浙西南地方（閩浙隆起區），也就是武夷山地區，是探討華南大陸邊緣早期地殼演化歷史的重要視窗。有關華夏地塊變質基底的大地構造的意義一直有爭論，如為揚子地塊的東延（董申保等 1986）；為統一的中元古代漂移古大陸—華夏古陸（水濤等 1988）；為元古宙—中三疊紀洋盆於印支運動形成的特提斯型造山帶（許靖華等 1987）；為奧陶紀的地體碰撞帶，即變質基底屬於座落在海洋板塊上的外來陸塊（郭令智等 1988）；為受加里東期造山運動改造的古陸（任紀舜 1990）。凡此種種，均說明本區有著十分複雜的地殼演化史。

欲瞭解華夏地塊變質基底的大地構造的意義，關鍵是如何認定變質基底的構造性質和時代歸屬，因此精確的定年工作是有必要的基礎，近年來已累積有不少公認為較準確的定年資料，特別是 U-Pb 鋁石定年結果的報導，提供對變質基底新的認知。U-Pb 鋁石系統的封存溫度高（高於 700°C），定年結果常用來代表岩漿的侵位或高度變質作用的年齡。但是這些資料，雖然使用先進方法的定年（如 LA-ICPMS 及 SHRIMP 等），但是否能真正用作適當的解釋，取決於研究者如何挑選鋁石，以及這些鋁石能否避免為繼承鋁石。另一種可作為高溫定年的礦物是獨居石，往往形成於後期熱事件，由於含鈣量高，所利用的常是 Th-Pb 系統，特別是近世採用電子探針儀（Electron Microprobe，簡稱 EMP）獨居石化學定年的普遍性（如 Parrish, 1990; Montel et al., 1996; Seydoux-Guillaume et al., 2002; Cocherie et al., 2005），其重要性與日益增。

總體而言，武夷山地區變質基底出露的岩石，雲母斜長變粒岩—變質雜砂岩占 95% 以上，而變質鎂鐵質和長英質火山岩、大理岩和石英岩等占 5%，如此之岩石建造給定年帶來很大的困難。獨居石易在過鋁質之岩漿中形成，而這些岩石大部分源自沈積物，故在重熔或變質的過程中極有機會形成獨居石。一般年齡越老之獨居石，因 PbO 含量越高（Pb 全為放射性 Th 及 U 蛻變而來）而越容易測量，所得之年代故而更為準確，非常適合於利用在古老基底的年代測定上。外加電子探針法的方便性與可分析極小點（ $<5\ \mu\text{m}$ ）的優異性，更可瞭解單顆粒獨居石內的年齡變化，對變質作用所形成的礦物，可提供極有用的年齡控制。EMP 獨居石定年方法甚少被用於華南陸塊的研究上，前僅有 Chen et al. (2006) 歸納台灣西部沈積物中顯生宙獨居石年齡的分佈及頻率與閩江口沈積物十分相似，但與九龍江口者迥異，因而推論閩江係扮演搬運及供給台灣沈積物之重要角色。此外，台灣西部亦存有大量 1.8 Ga 左右的獨居石，而閩江發源於武夷山，亦即浙閩變質基底最大的出露地區，此一早元古代的年齡係一全球性事件，在華夏古陸的變質基底中應普遍存在，因此武夷山地區和閩江流域無疑是研究台灣西部物源最主要目標。本研究因此從武夷山基底岩石的 EMP 獨居石定年下手，配合部分 LA-ICPMS U-Pb 鋁石年齡測定，以瞭解這些基底岩石形成或變質時代以及其與台灣西部沈積物源的關係。

二、地質背景及採樣

1. 基底變質岩系的分佈

武夷山地區涵蓋浙西南及閩西北，出露一套變質基底，傳統上認為此一基底包括了晚太古代至寒武紀地層（表 1）。早元古代變質基底的主體係由浙西南的八都群和閩西北的麻源群所構成。浙西南八都群主要分佈於麗水地區的龍泉、慶元、松陽、遂昌、景寧等地，以龍泉—慶元一帶出露面積最大、最連續，並向南延入閩西北。麻源群主要分佈在南平地區的建甌、建陽、浦城、松溪、武夷山及三明地區的泰寧、建寧、將樂等地。它們在野外的一個共同的顯著特徵就是普遍發育條帶狀混合岩化花崗質或

石英質脈體，不難與晚前寒武紀綠片岩相區域變質岩相區別（童朝旭，2003）。

中元古代的變質岩分佈比較局限，呈帶狀分佈於浙西南的龍泉附近（龍泉群或陳蔡群），閩西北的政和一南平（馬面山群），和萬全—順昌（萬全群）。基本上這套岩石系列下部為變質的雙峰式細碧—角斑岩建造；上部為石榴斜長（二長）變粒岩、雲母（石英）片岩、大理岩和石英岩，其原岩建造以泥砂質沉積岩為主，變質程度為高綠片岩相—低角閃岩相（趙風清，1999）。不過新近的研究似乎顯示這些原被認為是中元古代的基底應推至晚元古代，例如晚元古代的變質岩石不僅出露於華夏地塊的週緣（Li, X. et al., 2003），也在本地區中逐漸被證實（Li, W. et al., 2005）。

此外，武夷山地區是否存在著晚太古代地層一直存有爭議，江西福建交界出露的天井坪組即為擬議中的此等地層（付樹超等，1991）。但 Li X (1997) 認為天井坪組的角閃岩與麻源群及八都群所含的同類岩石，無論就礦物組成與化學成分均十分相近，且所從事的角閃岩 SHRIMP U-Pb 鈾石定年結果為 1766 ± 19 Ma，故不支持此區有晚太古代地層，但顯示確實有晚太古代(2.5-2.8 Ga)的繼承鈾石。

2. 採樣

本研究基於前述的地層關係（表 1），並在中國地質大學（武漢）執行浙閩變質基底 17 條路線地質調查的基礎上，先對武夷山基底晚太古代、早元古代及中元古代地層的代表性剖面採樣，岩樣包括了天井坪組的雲母石英片岩(25FJ17)，麻源群南山組的片麻岩(25FJ08)，萬全群杜潭組的混合岩(25FJ12)及黃潭組變粒岩(25FJ18)，以及八都群塹頭組的石榴石花崗岩(25ZJ99-3)，其經緯度及地點均列於表 2。為了確定 EMP 獨居石定年的可靠性，另根據孫濤(2006)所編之華南花崗岩分布圖，在武夷山附近被認為屬於加里東期的寧化岩體(26FJ06)，海西期的真峰頂岩體(26FJ16)，印支期的瑋埔岩體南體(22FJ04)和富城岩體(22JX03)，及早燕山期的河田岩體(22FJ17)亦作了 EMP 獨居石定年，基本上這些花崗岩體均位在武夷山地區南段，沿北緯 $25^{\circ}30'$ 及 $26^{\circ}20'$ 兩條呈東西向分佈的路上，其採樣描述亦列入表 2 中。

三、年齡測定方法

定年標本製備步驟及分析方法如下：將岩樣（5-10 kg）擊碎，磨細，過篩，以重液集中重礦物後，將鈾石挑出埋入環氧樹脂（epoxy）將其固定成一直徑 2.5 公分的標靶餅，拋光後從事 LA-ICPMS 分析。另取部分剩餘重礦物作成相同的樹脂餅，拋光鍍碳後，直接以電子探針儀掃描，找尋獨居石分析其 ThO_2 ， UO_2 ， PbO 及 Y_2O_3 含量，其詳細的測定條件及步驟如 Chen et al. (2006) 所述。

U-Pb 鈾石定年工作是利用台灣大學地質科學系建立的雷射感應耦合電漿質譜儀進行單顆鈾石 U-Pb 定年。分析之前先利用中央研究院地球科學所架立之掃描式電子顯微鏡，拍攝鈾石標本的陰極發光照片，從陰極發光照片上可以觀察到鈾石的內部構造，例如：有無繼承鈾石核心、增生環帶，甚至是包裹體，藉以幫助選擇適當的分析位置。本系建立之感應耦合電漿質譜儀是安捷倫公司出產的 Agilent 7500s，並附加架設有 LUV213 雷射系統（ $\lambda=213$ nm; New Wave Research/Merchantek），利用氦氣與氬氣作為載氣，將經過雷射激發的標本樣品送入質譜儀中作進一步的游離與測量。在直徑 $40\mu\text{m}$ 的雷射光束單點上量測 Pb、U、Th 各同位素值，相對於外標準樣品（GJ-1，Jackson et al., 2002）的結果，經過 GLITTER 4.0 程式（Macquarie University）計算比值與年齡。以上結果再經過普通鉛校正程式 ComPbcorr（Anderson, 2002）校正後，可以得到精確 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 之比值、誤差與其相應年齡、誤差。利用 ISOPLOT 3 程式（Ludwig, 2003）將個別樣品定年結果投圖在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 對 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 諧和線上，剔除遠離諧和線的分析，留下最後年齡結果確認為

諧和的數據。但又考慮到顯生元以來的年輕鋁石樣品 (<1000 Ma) 中從低含量的 ^{235}U (占總鈾含量的 0.722%) 蛻變來的 ^{207}Pb 含量亦少, 不足以分析得到精確的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年齡, 因此一般都接受小於 1000Ma 的年輕樣品皆以 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年齡為準, 而老於 1000 Ma 的樣品則使用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年齡。

四、結果

1. EMP 獨居石年齡

列為測試的顯生宙標本, EMP 獨居石等實線年齡 (isochron age) 的測定結果如下: 河田岩體為 162.3 ± 4.4 Ma ($n=132$, MSWD= 0.22), 富城岩體為 215.3 ± 4.5 Ma ($n=79$, MSWD= 0.065), 此等結果與前人所測得的年齡大體一致, 即河田岩體為早燕山期的侵入體 (福建地質誌, 1985), 富城岩體鋁石鈾鉛年齡為 229.3 ± 6.8 Ma (于津海與趙蕾, 2007)。瑋埔岩體南體比較特殊, 顯現出兩組年齡, 一為 418.7 ± 16.4 Ma ($n=36$, MSWD= 0.23), 另為 360.6 ± 15.3 Ma ($n=30$, MSWD= 0.15), 指示均非印支期。此一標本另含有方鈾石, 利用 U-Pb 系統所計算出的 EMP 方鈾石平均年齡 (weighted mean age) 為 361.6 Ma ($n=23$, MSWD= 0.43) (註: 因為 UO_2 含量甚高 [83.5~88.0 wt%], 這種集中式的分佈無法取得可靠的等實線年齡, 故採用平均年齡)。寧化岩體 (26FJ06) 年齡分為兩組年齡, 一為 441.8 ± 12.3 Ma ($n=99$, MSWD= 0.439), 另為 350 ± 45 Ma ($n=12$, MSWD= 0.21); 三明以北的真峰頂岩體 (26FJ16), 年齡為 429.3 ± 15.6 Ma ($n=108$, MSWD= 0.295)。

至於武夷山基底岩石, 麻源群南山組片麻岩及萬全群黃潭組變粒岩均不含獨居石。天井坪組雲母石英片岩的年齡為 443.3 ± 11.3 Ma ($n=94$, MSWD= 0.36); 萬全群杜潭組混合岩則得到兩組年齡, 分別為 533.0 ± 44.4 Ma ($n=14$, MSWD= 0.24) 及 451.0 ± 17.7 Ma ($n=44$, MSWD= 0.37); 八都群塹頭組石榴石花崗岩亦為兩組年齡, 分別為 422.6 ± 13.7 Ma ($n=90$, MSWD= 0.305) 及 360.0 ± 14.9 Ma ($n=44$, MSWD= 0.366)。此等結果與鋁石鈾鉛定年所得不僅迥異, 而且顯現多期次的年齡記錄。這裡所述的兩組年齡均是每個獨居石顆粒可測得差異甚大的年齡, 代表著獨居石在不同次變質作用的生長。這種多期次的獨居石在許多變質帶中十分普遍, 與含稀土元素副礦物的消長有關 (Pyle and Spear, 2003)。

2. LA-ICPMS U-Pb 鋁石年齡

本研究分析了兩個顯生宙花崗岩 (22FJ04 和 22FJ17) 以及四個武夷山變質基底岩石樣品 (25FJ08, 25FJ12, 25FJ17 和 25ZJ99-3) 中的 U-Pb 鋁石年齡共 157 個點, 除萬全群黃潭組變粒岩的鋁石因顆粒太小而無法測定外, 個別結果如下:

(1) 樣品 22FJ04: 共分析 24 顆鋁石, 其中 21 顆顯示單一群落為 427.4 ± 4.0 Ma ($n=21$, MSWD= 4.1), 另有 1 個老鋁石年齡為 747 Ma 和 2 個年輕鋁石年齡為 378 及 137 Ma。

(2) 樣品 22FJ17: 共分析 26 顆鋁石, 其中 10 顆顯示單一群落為 152.0 ± 3.0 Ma ($n=10$, MSWD= 4.5), 另有 1 個 1178 Ma, 1 個 706 Ma, 1 個 523 Ma, 3 個在 297-280 Ma 範圍內, 2 個在 229-193 Ma 之內, 2 個 229 Ma, 6 個在 145-118 Ma 範圍內。

(3) 樣品 25FJ08: 共計在 36 顆鋁石上分析 36 個點, 得到了 10 個太古代鋁石年齡 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年齡 = 2.71~2.52 Ga), 10 個早元古代年齡 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年齡 = 2.48~1.74 Ga), 4 個晚元古代早期年齡 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年齡 = 947~895 Ma), 12 個晚元古代晚期年齡 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年齡 = 880~807 Ma), 其中還可以獲得一個群落年齡為 859.1 ± 9.2 Ma ($n=10$; MSWD=2.0)。

(4) 樣品 25FJ12: 共計在 13 顆鋁石上分析 13 個點, 得到了 4 個早元古代年齡 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年齡 = 2.17~1.63 Ga), 9 個晚元古代晚期年齡 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年齡 =

884~684 Ma)，由於整體鋯石年齡分散，因此無法求得一個群落年齡。

(5) 樣品 25FJ17：共計在 31 顆鋯石上分析 31 個點，得到了 1 個太古代鋯石年齡 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年齡=2.65 Ga)，1 個早元古代年齡 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年齡=2.21 Ga)，1 個晚元古代早期年齡 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年齡=962 Ma)，8 個晚元古代晚期年齡 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年齡=835~673 Ma)，13 個早古生代年齡 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年齡=483~404 Ma)，7 個晚古生代年齡 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年齡=398~358 Ma)，由於整體鋯石年齡分散，因此無法求得一個群落年齡。

(6) 樣品 25ZJ99-3：共計在 27 顆鋯石上分析 27 個點，得到了 3 個早元古代年齡 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年齡=2.41~1.70 Ga)，2 個早古生代年齡 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年齡=494~478 Ma)，21 個晚古生代年齡 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年齡=4578~409 Ma)，其中還可以獲得一個群落年齡為 436.4 ± 4.7 Ma ($n=19$; MSWD=4.5)。

五、討論

1. 武夷山附近顯生宙花崗岩體年齡之釐定

由於 U-Pb 鋯石的封存溫度高，目前常用以指示花崗岩及變質岩體的生成或結晶年代。EMP 獨居石年齡亦有相同效果，這可從本研究所測得的河田岩體以及富城岩體的 EMP 獨居石年代結果獲得佐證。瑋埔岩體為一狹長形的岩體，一直被認為和廣西的大容山一樣同屬印支期過鋁質花崗岩（如 Wang et al., 2005），現已知至少其南段應為加里東之年齡，因與前人所報導的瑋埔岩體年齡不一致，故以其主要出露地點為朋口附近而暫另取名為朋口岩體，也由於沒有已知年齡數據作對照，暫視為加里東期的花崗岩侵入體，受到海西期運動的疊加。年輕一組 EMP 獨居石年齡與方鈿石年齡契合，足見海西期的影響。除了瑋埔岩體南體（朋口岩體）的年齡顯現不一致外，真峰頂岩體亦是如此，孫濤(2006)將之歸為海西期的岩體，但 EMP 獨居石年齡卻為標準的加里東期產物，與一般認為屬於加里東期的寧化岩體(孫濤，2006)結果相仿。

對加里東期的花崗岩體而言，EMP 獨居石年齡結果似乎有一個特殊的現象，即可看到海西期的年齡記錄，朋口和寧化兩個較大的岩體均有如此之呈現，但較小的真峰頂岩體，儘管獨居石的含量不少，總共在 108 個分析中卻未顯現這一期的獨居石年齡。不論如何，鋯石年齡在朋口岩體上看不出海西期的記錄，可能意味著這期運動的影響已達到可改變獨居石成分但鋯石維持不變的程度。華夏陸塊上海西期花崗岩出露很少，真峰頂岩體原是其中之一（孫濤，2006），現已證明主要係為加里東的岩體，可能受到海西期的疊加，更多的年齡測定當有助於釐清海西期的影響，以及說明為何許多加里東岩體常具海西期年齡的原因。

多期次的獨居石成因較複雜，常與岩石所承受的進變質或退變質所產生的礦物群反應有密切關聯。例如 Pyle and Spear (2003)報導美國新罕市什爾州西南拉夫維爾山地區(Lovewell Mountain)的加里東期混合岩化片麻岩，在 415-400 Ma 的時段所含的獨居石消長過程包括 6 個（5 個進變質與 1 個退變質）礦物群反應，其中 4 個涵蓋獨居石生長，兩個則牽涉獨居石部分消耗，這些消長均記錄在獨居石單顆粒的變化之中。多期次的獨居石在發育的過程之中，每期往往表現出不同的鈷、釷及鈾含量，特別是如果岩石涉及石榴石結晶（釷含量達數千 ppm），會導致獨居石釷含量之變化(Pyle and Spear, 1999)，拉夫維爾山的例子中，4 期的獨居石生長帶即利用釷含量的圖像加以判別（如 Pyle and Spear, 2003）。武夷山地區加里東期花崗岩和混合岩 EMP 獨居石所伴有的海西期年齡大部分在鈾含量大幅增高的部位上所得，有些學者認為鈾含量太高的獨居石年齡不應計入，詳情將於另文中討論。

2. 加里東運動對武夷山基底岩石（年齡）之改造

武夷山地區早元古代變質基底的時代，推估為 2200~1800 Ma。而中元古代的時

代主要是通過對其中的變質火山岩的定年來厘定的，得到的年齡為 1800~1100 Ma。晚元古代則為晉寧運動之後裂陷環境下的產物，主要的年齡為 1000~600 Ma。武夷山地區的早元古時期似可再劃分為慢源玄武質岩漿活動時期 (2.2~2.0 Ga) 以及花崗岩岩漿活動期 (2.0~1.8 Ga) (李曙光等 1996)。前者之實證為閩西北建陽麻源變粒岩、角閃岩 Sm-Nd 全岩等時線年齡 2116 ± 22 Ma (袁忠信等, 1991)，以及浙西南景寧三枝樹鶴西群斜長角閃岩 Sm-Na 全岩等時線年齡 2056 ± 53 Ma，與八都群斜長角閃岩 Sm-Nd 全岩等時線年齡 2014 ± 43 Ma (李曙光等, 1996)。後者以較新的 U-Pb 定年資料，顯示遂昌大柘雲英閃長岩為 1800 ± 44 Ma (Wang et al., 1997b) 及片麻岩化二長花崗岩及花崗岩共 6 個數據為 1832 ± 80 至 1975 ± 80 Ma (Li, 1997)，故侵入華夏地塊早元古代的變質花崗岩鈾石顯示的岩漿結晶年齡為 1900 ± 100 Ma，代表了華夏古陸一次十分重要的熱事件。晚元古代的基底在武夷山地區遍存的想法最近亦被提出，主要依據為馬面山群的流紋岩，U-Pb 鈾石年齡為 818 ± 9 Ma (Li W. et al., 2005)，大致與楊子地塊周遭的晉寧運動產物同時代 (830-810 Ma, Li X. et al., 2003)，因此馬面山群可能要從中元古代延伸或推遲至晚元古代。

對武夷山基底岩石而言，U-Pb 鈾石年齡往往無法顯示具體單一的年齡群作為一期熱事件的依據，例如天井坪組的雲母石英片岩(25FJ17)，有許多分析點不在諧和線上未予列入，諧和者其年齡亦展佈於 850-800 Ma 和 500-350 Ma 的區間，除了顯示大量繼承鈾石的存在以外，最後期熱事件可能發在晚古生代。獨居石的表現則相對單純，所有偵得之顆粒僅為單一年齡(443 Ma)。最近曾雯等(2007)以 LA-ICPMS U-Pb 法對天井坪混合岩中花崗閃長質新成體的鈾石進行定年，得到了 446.8 ± 2.2 Ma 的年齡結果，結合鈾石 Hf 同位素所推斷的模式年齡(1.7-1.9 Ga)及地球化學特徵，他們認為「天井坪地區華夏地塊基底物質形成於早元古代，在加里東期經歷了強烈再造和深熔作用」。本研究 EMP 獨居石年齡支持此項說法，確認天井坪地區在加里東期有強烈的變質作用，導致獨居石在雲母石英片岩中發育，但可能尚加入了海西期的微弱訊息(圖 2)。本研究鈾石年齡，因有不少晚古生代的記錄，雖不構成年齡群落，亦間接支持此一看法。

原列為早、中元古代基底的標本，U-Pb 鈾石年齡亦同樣有年輕化的現象，如麻源群南山組的片麻岩(25FJ08)得到的年齡為 859.1 ± 9.2 Ma，萬全群杜潭組混合岩(25FJ12)落在 ~ 650 Ma，另八都群石榴石花崗岩(25ZJ99-3)則明確的顯示出一個加里東期的記錄 436.4 ± 4.7 Ma (圖 3)。相對應的 EMP 獨居石年齡對所有標本均顯示著明確的加里東期的記錄，除了萬全群杜潭組的混合岩尚留有一個寒武紀 (533 Ma) 的痕跡外，分佈範圍為 451 至 429 Ma (Wt. mean 年齡更縮為 437 至 432 Ma)。綜合 EMP 獨居石及 U-Pb 鈾石年齡結果，可說明所謂武岩山基底岩石歷經早元古代以來的主要構造運動和岩漿侵入的影響，直到加里東時期達到極致，使得早元古代以及中/晚元古代各樣本均留下此期熱事件記錄，因此武夷山地區基底岩石可能在加里東時期受到全面性的改造，但其後在華南盛行的印支期及燕山期造山運動，並未構成明顯的影響。

3. 台灣沈積物源的考量

一般相信台灣海峽的沈積物源自華南，係地殼物質經河流切割冲刷至海。Chen et al (2006)經由台灣西部河砂及海濱砂獨居石之 EMP 定年，顯示其中普遍富含早元古代(~ 1.8 Ga)的顆粒，而且新第三紀地層所含者 (北部 43 %及南部 27 %) 比老第三紀 (13 %) 多，這種現象被解釋為華南早元古代基底逐漸抬昇並受河流切割程度加大所致。經與華南主要河口現代沈積物所含顯生宙獨居石年齡的分佈及頻率比對，基於年齡譜之相似性，認為台灣西部沈積物主要透過閩江流域河系的侵蝕作用，只有金門的沈積物方受控於九龍江。再由於主為早元古代及晚元古代基底的武夷山地區(Li, X., 2000)就位於閩江流域的上游，因此推論武夷山地區可能就是台灣及海峽鄰近地區巨

厚沈積物中所夾的元古代獨居石之物源區。

閩江口沈積物 EMP 獨居石年齡的峰值為 530, 450, 360, 275, 245 及 195 Ma，其中以 450 Ma 者最為凸顯 (Chen et al., 2006)，經由本實驗測定的結果顯示，武夷山地區晚太古代及早、中元古代地層中的獨居石無一表明其為相對應的年齡，反而顯現強烈的加里東期的影響，此意味著加里東期的構造運動不僅誘發本期的花崗岩侵入，且已強烈到導致古老基底的熔融，並重新結晶獨居石，而能反應出本期的年齡，這或可解釋何以閩江口沈積物中未發現有前寒武紀但夾有大量的加里東期獨居石，然則此等結果卻對台灣早元古代的物源未能提供任何線索。

六、結論

透過 EMP 獨居石年齡的檢驗，對武夷山基底岩石所報導的一些年齡結果，認為極可能是繼承鋯石的年齡，而非代表岩體侵位或變質時間。因此在此地區若鋯石年齡過老，必須佐以其他的方法予以確認，以一些基底岩石具過鋁質的特性，EMP 獨居石年齡應屬可行，雖其精度不及鋯石 U-Pb 法，仍不失為一種相對簡易可行的檢測方式。獨居石一般是最後一期熱事件的產物，近期活動的記錄者。EMP 獨居石年齡的結果明白指示了武夷山基底岩石的複雜性，即其年齡與附近的加里東岩體一致，並有部分出現海西期的記錄。目前由於 EMP 獨居石未顯現早元古代的年齡記錄，台灣西部沈積物中此一年齡獨居石的物源區是否為武夷山地區仍待另覓佐證落實。

七、計劃成果自評

本研究成果充分顯現出浙閩武夷山變質基底的年齡圖譜，也成功的將兩種不同定年法（EMP 獨居石定年與 LA-ICPMS U-Pb 鋯石定年）應用至同一樣本上，系統性的比較兩者的異同，對於原計劃欲解決的台灣西部沈積物中獨居石的物源區問題提供了證據，雖然仍待另覓佐證落實，但對於研究華南基底與沉積物來源的研究有相當的助益，計劃今年將會此一結果投稿至學術期刊上發表。

八、參考文獻

- Chen, C. H., Lu, H.Y., Lin, W. and Lee, C.Y. (2006) Thermal event records in SE China coastal areas: constraints from monazite ages of beach sands from two sides of the Taiwan Strait: *Chem. Geol.*, 231, 118-134.
- Condie, K. C. (2002) Breakup of a Paleoproterozoic supercontinent: *Gondwana Res.*, 5 (1), p. 41-43.
- Ludwig, K.R., 2003. ISOPLOT 3.00: a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley, California.
- Meert J. G. (2002) Paleomagnetic evidence for a Paleo-Mesoproterozoic supercontinent Columbia: *Gondwana Res.*, 5 (1), p. 207-216.
- Montel, J-M., Foret, S., Veschambre, M., Nicollet, C. and Provost, A., 1996. Electron microprobe dating of monazite. *Chem. Geol.* 131, 37-53.
- Percival J. A. (1990) A field guide to the Kapuskasing Uplift, a cross section through the Archean Superior Province. NATO ASI Series. Series C: Mathematical and Physical Sciences, 317, p. 227-283.
- Pyle, J.M. and Spear, F.S. (1999) Yttrium zoning in garnet: coupling of major and accessory phases during metamorphic reaction. *Geological Materials Research*, 1(6), 1-49.

- Pyle, J.M. and Spear, F.S. (2003) Four generations of accessory-phase growth of low-pressure migmatites from SW New Hampshire. *Am. Min.* 88 (2-3), 338-351.
- Rogers (2002) A history of continents in the past three billion years: *J. Geol.*, 104, p. 91-107.
- Rogers and Santosh (2002) Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic Supercontinent: *Gondwana Res.*, 5, P. 5-22.
- Sear and Price (2002) The hypothetical Mesoproterozoic Columbia: Implications of the Siberian-West Laurentian Ghost: *Gondwana Res.*, 5, P. 35-40.
- Seydoux-Guillaume, A-M., Paquette, J-L., Wiedenbeck, M., Montel, J-M. and Heinrich, W. 2002. Experimental resetting of the U-Th-Pb systems in monazite. *Chem. Geol.* 191, 165-181.
- Wang, Q et al. 2005 *EPSL* 230(3-4), 339-352.
- Wilde, Zhao and Sun (2002) Development of the North China Craton during the late Archean and its final amalgamation at 1.8Ga: Some speculations on its position within a global Paleoproterozoic supercontinent: *Gondwana Res.*, 5, p. 85-94.
- Zhao, Cawood and Wilde (2002) Review of global 2.1~1.8 Ga orogens : Implications for a pre-Rodinia supercontinent, *Earth Sci Rev.* p.125-162.
- 水濤，徐步台，梁如華等．中國浙閩變質基底地質．北京：科學出版社，1988：1~5。
- 陳文山、鄂忠信、陳勉銘、楊志成、張益生、劉聰桂、洪崇勝、謝凱旋、葉明官、吳榮章、柯炯德、林清正、黃能偉 (2000) 上一更新世台灣西部前陸盆地的演化：沈積層序與沈積物組成的研究。經濟部中央地質調查所彙刊，第十三號，p.137-156。
- 孫濤 (2006) 新編華南花崗岩分布圖及其說明。地質通報，第 25 卷，第 3 期，p.332-335。
- 于津海、趙蕾 (2007) 南嶺地區晚中生代花崗岩成因與岩石圈動力學演化（周新民主編），第七節：紅山—富城岩體，p.595-627，科學出版社。
- 庄建民、黃泉禎等 (2000) 福建省前寒武紀變質岩，廈門大學出版社，共 94 頁。
- 李曙光，陳移之，葛寧潔等．浙西南八都群變質火山岩系及變晶糜棱岩的同位素年齡及其構造意義。岩石學報，1996，12（1）：79~87。
- 許靖華，孫框，李繼亮．是華南造山帶而不是華南地台。中國科學（B 輯），1987，10：1107~1115。
- 袁忠信等．閩北麻源群 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素年齡研究。岩石礦物學雜誌，1991，10（2）：127~132。
- 趙風清，金文山，甘曉春等．華夏地塊前加里東期變質基底的特徵以及深部地殼性質。地球學報，1995，3：235~245。
- 趙風清．華夏地塊前加里東期變質基底的年代構造格架。前寒武紀研究進展，1999，22（2）：39~46。
- 付樹超等，1991，福建建寧西部上太古界天井坪組(Ar₂t)地質特徵，福建地質，第 10 卷第 2 期。
- 曾雯，張利，周漢文，鍾增球，向華，劉銳，靳松，呂新前，李春忠．華夏地塊古元古代基的加里東期再造：鉛石 U-Pb 年齡、Hf 同位素和微量元素制約，2007，
- 任紀舜，陳廷愚，牛寶貴等，1990。中國東部及嶺區大陸岩石圈的構造演化與成礦。北京：科學出版社。

表 1. 武夷山地區前寒武岩石地層單位

0.6 Ga	地質年代		閩西北地區*		閩東地區*		浙江地區**	
	寒武紀		林田組(C 1)					
	晚 元 古 代	震 旦 紀	蓋 洋 群 (ZG)	龍頭組 (Zlt)	稻香組(Zdx)			
				三溪寨組 (Zs)				
樓前組 (Zlq)								
0.8 Ga								
1.0 Ga		青 白 口 紀						
1.8 Ga	中 元 古 代	薊 縣 紀	萬 全 群 (Pt2W)	下峰組 (Pt2x)	馬 面 山 群 (Pt2M)	龍北溪 組(Pt2l)	龍 泉 群 (Pt ₂ L)	徐岸組(Pt2xa)
				黃潭組 (Pt2h)		東岩組 (Pt2d)		下吳宅組 (Pt2xw)
				杜潭組 (Pt2dt)		大嶺組 (Pt2dl)		下河圖組 (Pt2x)
			長 城 紀	交溪組(Pt2j)		搗白灣組 (Pt2d)		
	2.5 Ga	早 元 古 代	麻 源 群 (Pt1M)	南山組 (Pt1n)	迪口組(Pt1dk)		八 都 群 (Pt ₁ B)	大岩山組 (Pt1dy)
泗源組(Pt1sy)								
大金山組 (Pt1d)				大金山組(Pt1d)		張岩組(Pt1zy)		
						塹頭組(Pt1q)		
晚太古代		天井坪組(Ar3t)						

* 庄建民、黃泉禎等 (2000)

** 浙江地礦局 (1996)

表 2. 武夷山地區前寒武基底野外採樣紀錄

樣號	經度	緯度	地點	岩性	備註
1. 變質	基底岩石				
25FJ08	27°19'58.0	118°07'19.8	建陽市過建溪對岸	片麻岩	Pt1n(麻源群南山組)
25FJ12	27°27'27.6	117°45'37.5	長坪村往黃坑路上，809 縣道 70.65 km 處	混合岩	Pt2-3dt(萬全群下部杜潭組)
25FJ17	26°52'13.1	116°42'27.3	落馬地村採石場	雲母石英片岩	Ar3t(天井坪組)
25FJ18	26°33'52.8	116°55'44.7	建寧-鈎口-往夏坊之前	變粒岩(中酸性火山岩變成)	Pt2-3h(萬全群中部黃潭組)
25ZJ99-3			鬆陽附近大嶺頭	石榴石花崗岩	(八都群塹頭組)
			遂昌大嶺頭		(陳蔡群 組)

2. 顯生宙花崗岩體

22FJ17	25°38'56.0	116°10'35.3	河田岩體	黑雲母花崗岩	早燕山期侵入體
22JX03	25°31'58.6	115°53'25.0	富城岩體	黑雲母花崗岩	印支期侵入體
22FJ04	25°30'42.5	116°40'46.2	朋口岩體 (瑋埔南體)	花崗岩	加里東期侵入體
26FJ06	26°18'40.0	116°41'29.2	寧化岩體	花崗岩	加里東期侵入體
26FJ16	26°27'46.6	117°29'18.8	真峰頂岩體	花崗岩	加里東期侵入體

出席國際學術會議心得報告

計畫編號	95-2116-m-002-016
計畫名稱	浙閩變質基底與台灣西部沉積物來源之關聯
出國人員姓名 服務機關及職稱	陳正宏 台灣大學地質科學系 教授 謝佩珊 台灣大學地質科學系 博士班研究生
會議時間地點	會議地點：義大利佩魯吉亞(Perugia) 會議時間：2007/7/02 到 2007/7/13
會議名稱	International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)
發表論文題目	GENERATION OF LATE CRETACEOUS STRONGLY PERALUMINOUS AND PERALKALINE TO MILDLY PERALUMINOUS SILICIC ROCKS IN SE CHINA COASTAL AREAS: AGE, GEOCHEMICAL, SR AND ND ISOTOPIC AND NUMERICAL CONSTRAINTS THE APPLICABILITY OF USING APATITE GEOCHEMISTRY FOR DIFFERENTIATING MESOZOIC I- AND S-TYPE AND INTERMEDIARY GRANITOIDS IN S CHINA

一、參加會議經過

International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)是 International Council for Science (ICSU) 25 個科學協會之一，由七個協會所共同組成（IAG, IAGA, IAHS, IAMAS, IAPSO, IASPEI and IAVCEI），每個協會都在各自的領域佔有領導地位。每四年於不同地點舉辦一次大會，主旨以地球與其環境科學研究為主，從地球內部組成構造、地球動力學、岩漿形成、火山學、水圈循環、甚至到月球與其他行星的研究等項目，都包含在本會議的議程中。因此本會議提供了一個重要的國際研究交流平台，預期可藉由口頭宣讀與海報獲得許多嶄新與多角度的研究心得。

今年在義大利佩魯吉亞(Perugia)舉辦的是第 24 屆 IUGG 聯合會，會期自 2007/7/02 到 2007/7/13，申請人所參加的是會期在第二周的 IAVCEI 會議。今年 IAVCEI 會議主題分成下列項目，約 300 篇文章發表：

- VS001 Sediment-laden gravity flows in volcanic settings: generation, sedimentation, prediction and hazard assessment
- VS002 Submarine volcanism: eruption processes, transport mechanisms and links with hydrothermal systems
- VS003 Volcanic Flows: Observation, Experiment, and Theory
- VS004 Intraplate monogenetic basaltic and kimberlite volcanic provinces and processes
- VS005 The Magma Feeding System of Persistently Active Basaltic Volcanoes: Mount Etna and Others
- VS006 Calderas I - Calderas and resurgent calderas
- VS007 Calderas II: Calderas and caldera forming eruptions
- VS008 Volcanic hazard evaluation: methodologies and applications

VS009 Models and products of mafic explosive activity

VS010 Modeling the plumbing system of active volcanoes by integrated petrological, geophysical and fluid inclusion studies

VS011 Modeling and simulation of volcanic related phenomena for hazard mitigation

VS012 Cities on Volcanoes: looking at the links between volcanology and communities issues around volcanoes

VS013 Quantifying and expressing volcanic risk: a challenge for the Millennium

VS015 New Techniques using Remote Sensing Data for Volcano Monitoring and Analysis: Observations, Integration, Hazard Assessments and Modeling

VS016 Volcanic-plutonic provinces: a tool to understand magma genesis and geodynamics

VS017 Pedagogical and didactical methods in earth science education and geopark concepts in demonstrating volcanic processes

VS018 New advances in understanding phreatomagmatism: from experiments to volcanic facies analyses

VS019 Large Igneous Provinces

VS021 Eruptions of Stromboli Volcano, Italy, March 2007

VS022 Mt Ruapehu (NZ) breakout lahar, 18 March 2007

VW002 Non-localised volcanic hazards - Inter-agency and international communications

VW001 Guidelines for the preparation of volcanic hazards maps

VW003 Magmatic (fluid and melt) inclusion studies in active volcanoes magmatic systems

申請人所發表的文章屬於 VS016—Volcanic-plutonic provinces: a tool to understand magma genesis and geodynamics。原本議程中申請人擬以海報方式發表，但由於會議中臨時有與會人缺席，因此主動向主持人提議將發表方式由海報張貼改為口頭報告，另外本研究計劃主持人台大地質系陳正宏教授，也在同一個議程中對於本研究群的工作作一個詳盡的報告。每個議程的海報發表在晚上六時到八時在兩個展示大廳中舉行，提供公開、自由的學術交流平台。除此之外，另在 7/10、7/13 兩日正常議程開始前，大會特地邀請了 2 位學者進行一個小時的專題演講，主題分別是：Subduction and mantle convection in the Mediterranean 和 Lessons from the 2004 Sumatra-Andaman earthquake and the Asian tsunami。首場邀請演講著重於環地中海複雜的隱沒系統及其目前提出的隱沒板塊後退導致的地函對流模式；而後則借由 2004 蘇門達臘地震與其引發的海嘯之例，說明目前海嘯預報系統的建立與未來工作。

二、與會心得

整體來說參與這次會議除了宣讀個人的研究成果，更可以說是了解世界各國對於火山學、測地學與地球物理最新研究方向或成果的最好機會。在義大利舉行會議與會人員遍佈全球北歐、中歐、南歐、南非、中亞、亞洲、美洲、澳洲各地，都有地質學家來共襄盛舉。讓這次會議的內容相當豐富橫跨世界各個角落，也了解了許多以前比較少接觸的地方之研究。除了每天舉行的論文發表，在會後仍有許多會議室繼續進行各領域的公開小型討論會，針對許多新的研究方法、研究領域、以至於新的觀念與模式，進行熱烈的討論，在義大利最早教育啟蒙之地舉辦此會議，更添學術的氣息。