

由臺灣中部前陸砂岩之岩象研究 看褶皺逆衝帶之剝蝕歷史

陳振華 陳文山 王 源 陳勉銘

抽印自 地質 第十二卷第二期

中華民國八十一年十月出版

由臺灣中部前陸砂岩之岩象研究 看褶皺逆衝帶之剝蝕歷史

陳振華¹ 陳文山¹ 王 源¹ 陳勉銘¹

節 要

由於造山帶與前陸盆地在成因上關係密切，因此前陸盆地沈積物組成常被視為探討造山歷史與盆地發育過程的重要指標。

臺灣中西部晚期新生代前陸砂岩之岩象分析結果顯示，中新世晚期桂竹林層砂岩富含石英，並含一些長石，岩屑含量則甚少。而上新世至更新世之卓蘭層與頭嵙山層砂岩則富含岩屑，且具岩屑含量愈往上愈多之趨勢，至於長石含量一般甚少。根據 Dickinson 與 Suczek(1979)的分類，桂竹林層之來源應屬穩定大陸地塊，而卓蘭層以上岩層中的沉積物則來自造山帶。若進一步以岩屑種類來看，則下部卓蘭層砂岩所含岩屑以沉積岩岩屑為主，往上變質岩岩屑漸增，迄頭嵙山層香山相中段以後變質岩岩屑已成為主要岩屑種類。其中，變質砂岩岩屑相對含量呈現明顯的漸增趨勢。至於板岩岩屑方面，由於後期出現之板岩岩屑片理較早期者發達，故將板岩岩屑分為板岩 I 型與板岩 II 型詳加討論。其中，板岩 I 型的相對含量有先漸增而後逐漸稍減的趨勢；而板岩 II 型自火炎山相上段之後則有增多的趨勢。由上述砂岩中岩屑種類之變化趨勢可以反映臺灣造山帶山脈岩層的出露與剝蝕過程。

依據上述岩象分析結果，顯示上新世時在臺灣中部來源區造山帶出露的岩層以未經變質的沉積岩為主；而早期更新世時在來源區山脈出露的岩層則以亞變質岩(雪山山脈岩層)為主；至晚期更新世時其沉積物的來源區則可能涵蓋到雪山山脈東側或中央山脈板岩岩層。

前 言

臺灣西部麓山區屬於前陸褶皺逆衝帶的一部分，主要由第三紀的沉積岩層組成。麓山區內的漸新—中新世地層可能為板塊碰撞前沉積之岩層，而上新世—第四紀地層則可能代表碰撞同時之前陸盆地沉積物(Wang, 1987; Teng, 1990)。由於造山帶與前陸盆地在成因上關係密切(Beaumont, 1981; Jordan, 1982; Karner and Watts, 1983)，因此前陸盆地沉積物組成常被視為探討造山歷史與盆地發育過程的重要指標。前人研究(如 Graham et al.,

1. 國立臺灣大學地質研究所

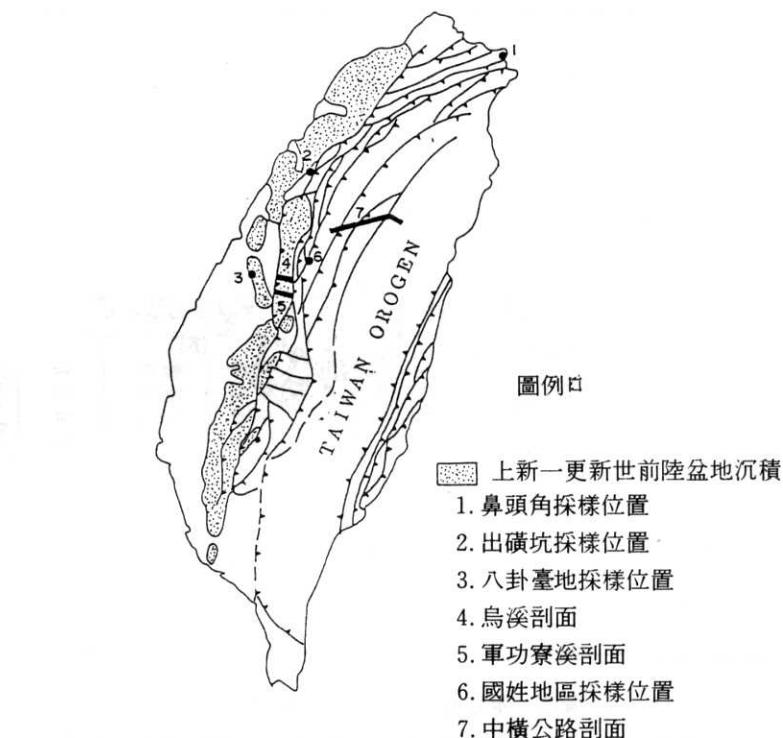
1986；Lawton, 1986；Ingersoll *et al.*, 1987 和 DeCelles *et al.*, 1991 等)顯示造山同時的前陸盆地沉積物的組成變化趨勢可以反映來源區山脈岩層的隆起與剝蝕過程，從而可以推測來源區構造活動的歷史。在國內，東部海岸山脈的砂岩岩象分析結果對於板塊碰撞的歷史、弧前盆地的演化以及中央山脈的隆起與剝蝕過程等亦提供了許多重要的情報(Teng, 1979；Chen and Wang, 1988；Dorsey, 1988；陳，1988)。臺灣西部麓山區新第三紀地層中砂岩的組成亦曾經有一些學者從事過研究，如李(Lee, 1963)和周(Chou, 1971, 1973, 1977, 1980)等。前者之研究著重於探討砂岩中板岩(含千枚岩與片岩)岩屑含量在地層中之側向與縱向變化趨勢，對於其他種類岩屑之含量亦略描述，但未深入討論。而後者則著重於砂岩之分類、成熟度以及來源區母岩種類之判釋，雖然亦有提及頁岩與板岩岩屑含量之側向與縱向變化趨勢，但對砂岩中所含之岩屑未予以分類。由於砂岩中各種特徵性岩屑之出現順序與相對含量變化趨勢會因來源區構造活動之時空變化而有所改變，因此本研究乃以臺灣中西部晚期新生代之桂竹林層、卓蘭層以及頭嵙山層砂岩為材料，依據狄金遜(Dickinson)等人之分類方法(Graham *et al.*, 1976；Dickinson and Suczek, 1979；Ingersoll and Suczek, 1979)分析其組成，尤著重於特徵性岩屑種類之辨識，並與來源區岩層之岩性比較，以探討來源區山脈之隆起與剝蝕過程以及麓山區前陸褶皺逆衝帶的活動歷史。

採樣地層概述

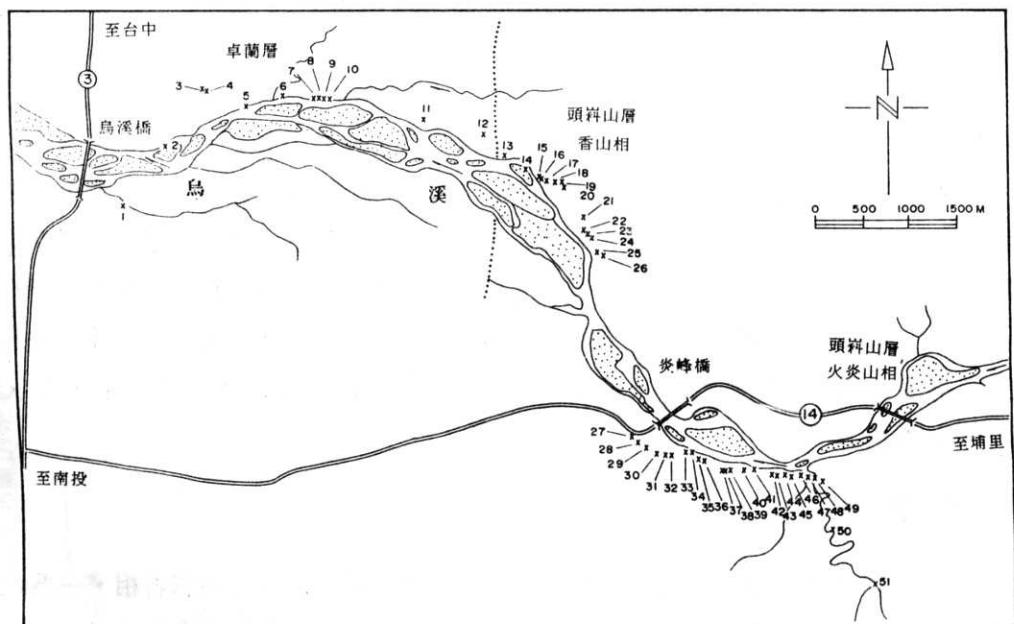
本研究於臺灣中西部之烏溪及軍功寮溪剖面共採集 107 個卓蘭層與頭嵙山層之砂岩岩樣(圖一、二、三)。另於苗栗出磺坑採集 13 個桂竹林層(關刀山砂岩)砂岩岩樣(圖一、四)；並於北部沿海之鼻頭角(圖一)採集 2 個桂竹林層(鼻頭層)砂岩岩樣。此外，為了追蹤頭嵙山層上部砂岩組成之變化，又於八卦台地(圖一)採集 4 個砂岩岩樣。茲將採樣地層由老到新分述如下：

(一)桂竹林層

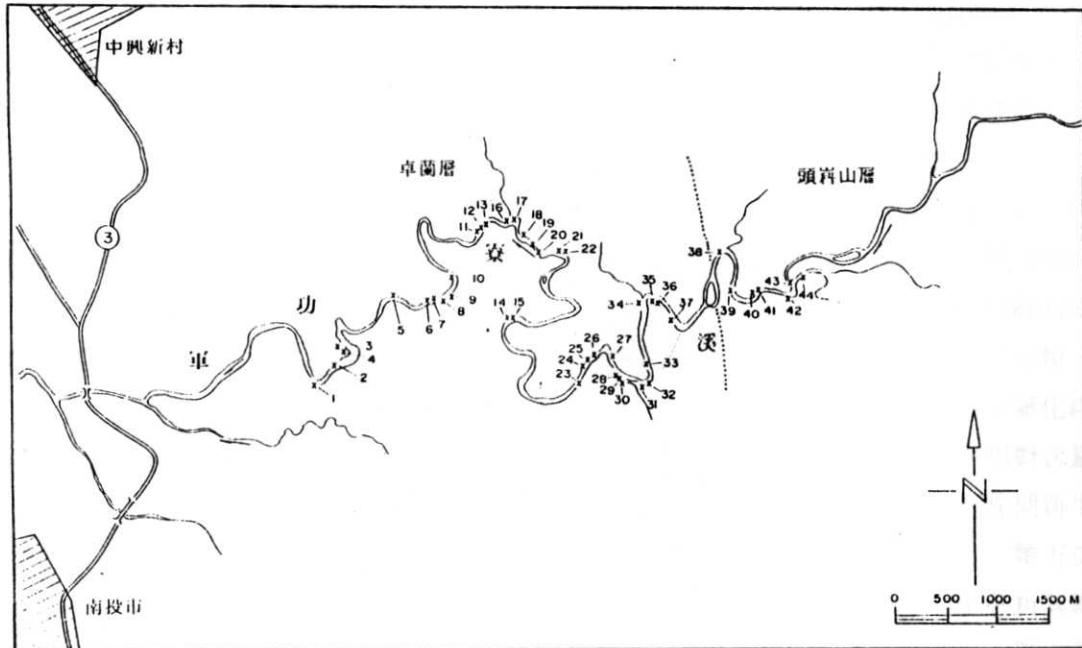
桂竹林層本為臺灣西部中新世最上部地層，惟最近的古生物研究已將本層的大部分歸入上新世地層(Huang, 1979；紀等, 1984)(表一)，本層整合於南莊層之上，錦水頁岩層之下。在臺灣中部地區桂竹林層又可以分為下段之關刀山砂岩，中段之十六分頁岩和上段之魚藤坪砂岩。關刀山砂岩段大部分由灰色細粒至中粒之泥質或鈣質厚層塊狀砂岩組成，夾有少量深灰色砂質頁岩，本岩段底部夾有礫石或粗粒的白砂岩。十六分頁岩段主要由深灰色砂質頁岩組成，富含貝類、有孔蟲及螃蟹化石，本段與其上下兩段之關係均為漸變，無明顯界限。魚藤坪砂岩段主要由灰色細粒泥質厚層砂岩組成，偶夾頁岩，砂岩岩質較關刀山砂岩段



圖一 採樣位置與臺灣地質略圖。臺灣地質略圖修改自 Covey(1984)，各採樣地點或剖面之大概位置如圖所示。



圖二 烏溪剖面採樣位置圖



圖三 軍功寮溪剖面採樣位置圖

鬆軟。桂竹林層在出礦坑地區出露之厚度約500公尺。沉積構造指示桂竹林層屬於淺海沉積環境，沉積物可能自西北之來源地向東南及南搬運(Chou, 1980)。由於本研究採集之岩樣以中粒至粗粒砂岩為主，因此桂竹林層之岩樣主要採自關刀山砂岩段(圖三)。

(二)卓蘭層

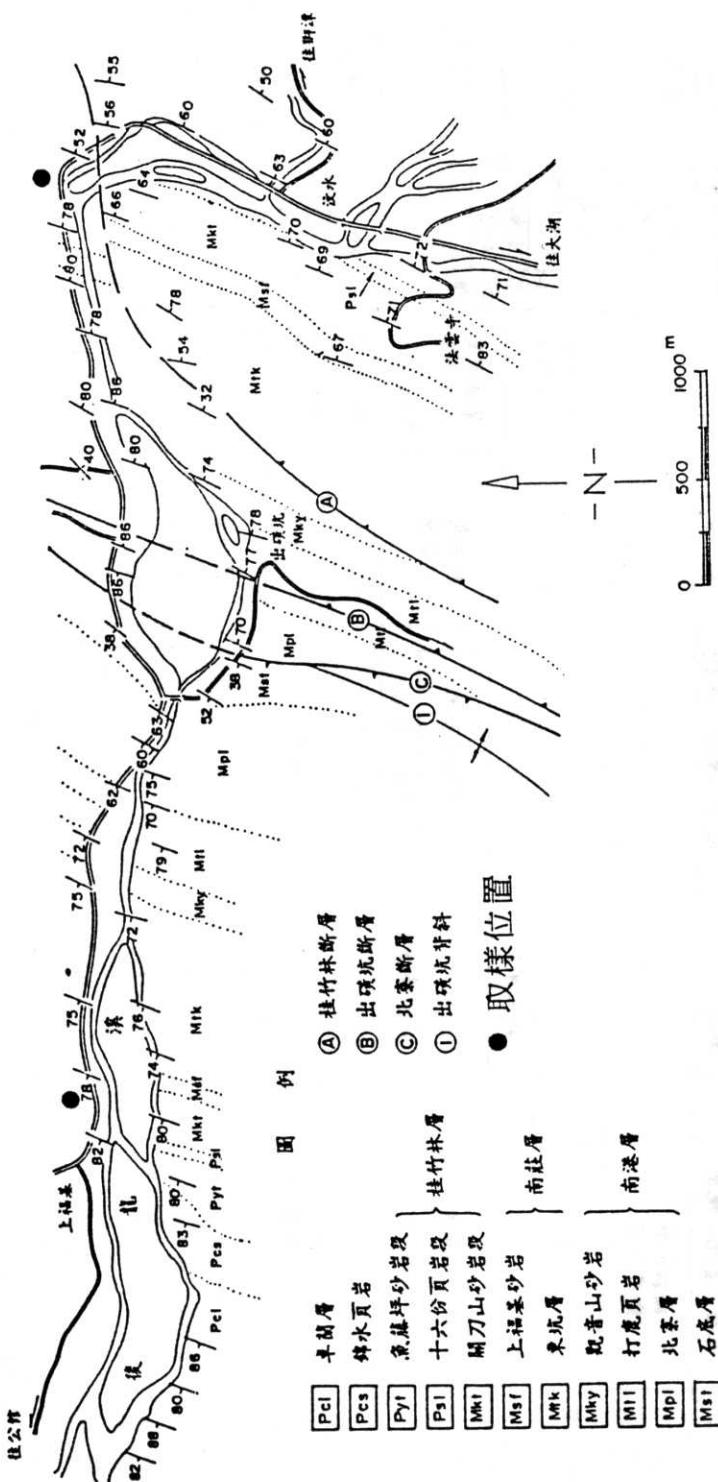
卓蘭層為上新世上部地層，整合於錦水頁岩層之上，頭嵙山層之下。根據最新的古生物研究，卓蘭層的頂部可能已進入更新世(Huang, 1978；紀等, 1984)(表一)。本層主要由砂岩、粉砂岩、泥岩和頁岩之互層組成，砂岩呈淡灰色或淡青灰色，細粒至粗粒，層厚數十公分至數公尺不等(通常少於二公尺)。頁岩與泥岩呈暗灰色，一般多為數十公分厚，偶有較厚層者。砂岩的沉積構造以暴風砂的結構為主，屬於大陸棚上之遠濱帶環境。卓蘭層在烏溪及軍功寮溪剖面出露之厚度均約有二千餘公尺。古水流方向主要由東向西流動，周(Chou, 1971)亦有此看法。

(三)頭嵙山層

頭嵙山層為更新世地層，整合於卓蘭層之上。本層一般可以分為兩個岩相，一為礫岩相(火炎山相)，一為砂岩及頁岩相(香山相)，前者通常覆於後者之上。香山相主要由淡青灰色

表一 臺灣西部麓山帶第三紀及更新世地層對比表(何春蓀, 1986)

區域		臺灣北部	臺灣中北部	臺灣中部	臺灣中南部	臺灣南部	臺灣最南端
時代	基隆、臺北、桃園 (基隆山層 (鰲音山層))	新竹、苗栗 通霄(楊梅)層	臺中、彰化、南投 頭嵙山層	嘉義、臺南 二重溪層 安平下寮層	臺南、高雄 玉井頁岩	高雄、屏東	恒春半島 恒春石灰岩
上新世	卓蘭層	卓蘭層	卓蘭層	六重溪層 濁水溪層	北寮頁岩層 竹頭崎層	(狹義) 古亭坑層 南勢崙	馬鞍山層
	錦水頁岩	錦水頁岩	魚藤坪砂岩	鳥嘴層 中崙層	李捕頁岩層 隘寮坑頁岩		
	二鬱層	桂竹林層	十六份頁岩	關刀山砂岩	糖恩山層	墾丁層	樂水層 (砂岩為主)
	三峽層	大埔層	南莊(五堵)層	上福基砂岩 東坑層	南莊層	烏山層	長樂層 (頁岩及砂礫岩 為主)
	晚期	南港砂岩 溪合層	南港層	觀音山砂岩 打鹿頁岩 北寮砂岩	水裡坑層	達邦層	長林坑層 紅花子子民頁岩
中期	瑞芳層	石底層	野柳層 木山層	出磺坑層	大坑層	大坑層	大坑層
中新世	早期	大寮層 木山層	五指山層 蚊子坑層	碧靈頁岩 汎水層	粗坑層	粗坑層	粗坑層
漸新世	晚期	五指山層 蚊子坑層					



或淡灰色，細粒至粗粒厚層塊狀砂岩，夾粉砂岩及暗灰色頁岩之互層組成，砂岩膠結疏鬆，層中偶夾有礫岩薄層或凸鏡體，並偶含有漂木碎塊。烏溪剖面出露之香山相地層厚度約1600公尺；軍功寮溪剖面之香山相岩層出露不佳，總厚度約為2400公尺。火炎山相主要由塊狀厚層礫岩組成，偶夾有透鏡狀或薄層的砂岩、粉砂岩與頁岩。礫石為圓形至次圓形，直徑以數公分至數十公分較為常見，淘選度差，礫石種類主要為堅硬之石英岩和變質砂岩，但亦有少部分沉積岩礫石。沿烏溪北岸出露之礫岩層其厚度可達約1000公尺，軍功寮溪剖面則無礫岩層出露。沈積構造指示頭嵙山層可能堆積於陸相河流以至於淺海環境(Chou, 1977; Covey, 1984)，其古流自東方向西方流動(Chou, 1971)。卓蘭層上部與頭嵙山層下部之岩性皆為砂岩岩相頗為相似，兩層之分層界線在野外極不易劃分。但大體而言，由卓蘭層以迄頭嵙山層礫岩相，係呈一逐漸向上變粗的次序，因此香山相之砂岩通常較卓蘭層發達，沉積構造常具有大型交錯層理；而卓蘭層砂岩則無此結構，但以暴風砂岩中常具有的平行層理、低角度交錯層理或圓丘狀交錯層理為主。概言之，卓蘭層是遠濱帶，而香山相岩層為濱面帶之環境。

研究方法

126個採自前述地層之中粒至粗粒砂岩均製成薄片。部分膠結較差之岩樣，於磨片前須先注入快乾膠固結，再製成薄片。每一薄片計數300點，每點間距為0.5公厘。統計分析結果指出計數300點，當含量為50%時，絕對誤差最大，約為5.7% (Van der Plas and Tobi, 1965)。

此外，為了辨識具特徵性之岩屑種類，本研究沿大禹嶺以西之中橫公路，沿線採集大禹嶺層、廬山層、眉溪砂岩、達見砂岩、佳陽層、四稜砂岩以及白冷層等地層之砂質與泥質岩樣共53個，製成薄片；並蒐集國姓地區之中新世地層與白冷層岩石薄片47片。經詳細觀察可能來源區岩層之特性，並與上新—更新世砂岩所含之岩屑比對後，本研究將砂岩顆粒組成歸納為12類礦物、岩屑或基質如下：

- (1)單晶質石英(Qm)(圖版 I A)—為單一顆粒的石英，部份具有扇狀消光之特徵。
- (2)多晶質石英(Qp)—為同一顆粒中含有多顆粒不同時消光的石英結晶，再結晶作用發達，顆粒間無基質充填。平光時類似單晶質石英(圖版 I B)，無明顯之顆粒界限，正交偏光則呈許多結晶鑲嵌之圖案(圖版 II A)。另外，燧石以及部分被壓碎而呈不一致消光之石英亦併入此類。

(3)長石(F)(圖版 I A)—長石包括正長石與斜長石，由於其含量不多，故本研究未加以細分。長石顆粒常呈風化，高度風化者往往僅能憑外型與風化蝕變後之產物(主要為絢雲母與黏土礦物)加以辨識。

(4)砂岩、粉砂岩岩屑(Ss)(圖版 I A、I B、II A)—為含有許多細顆粒石英之泥質或鈣質岩屑，不具片理構造，泥質膠結物呈褐色至深褐色，石英顆粒呈圓形至次角形。

(5)泥、頁岩岩屑(Sh)(圖版 I A、I B、II A)—為泥質岩屑，偶含有細顆粒石英，不具片理構造，通常呈褐色至深褐色。

(6)變質砂岩岩屑(Ms)(圖版 II B)—主要為石英岩岩屑，石英岩主要由石英與長石組成，長石多呈絢雲母或黏土化，顆粒多互相嵌接縫合，顆粒界線不明顯，顆粒間偶夾少量已絢雲母化之膠結物，石英顆粒縫合嵌接與再結晶之程度均較多晶質石英輕微。少部分為變質細砂岩或粉砂岩，其基質多已絢雲母化。

(7)具片理之變質砂岩岩屑(Fs)(圖版 III A)—為具有片理之砂岩岩屑，其石英顆粒有被拉長之現象，基質多已絢雲母化。

(8)板岩 I 型岩屑(SI I)(圖版 III A)—為具有片理之泥質岩屑，其片理密度較疏，礦物平行排列較不顯著，絢雲母顆粒較小，石英顆粒被拉長的現象亦不明顯。

(9)板岩 II 型岩屑(SI II)(圖版 III B)—為具有發達片理之泥質岩屑，片理連續且緻密，礦物平行排列顯著，絢雲母顆粒較大，石英普遍被拉長或呈透鏡狀。

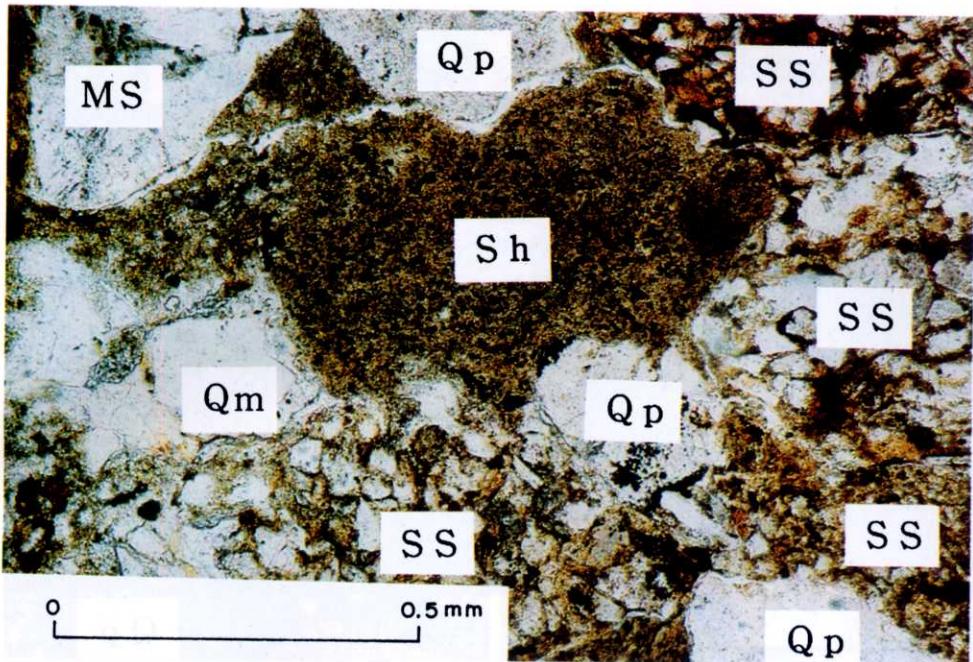
(10)火成岩岩屑(Lv)—研究樣本中幾乎都不含火成岩岩屑，偶而出現者多呈深度風化，僅能憑其組織推測可能為火成岩岩屑。

(11)其他(Mis)—包括不透明礦物、化石、雲母、蝕變礦物、重礦物以及一些無法鑑定之礦物等。

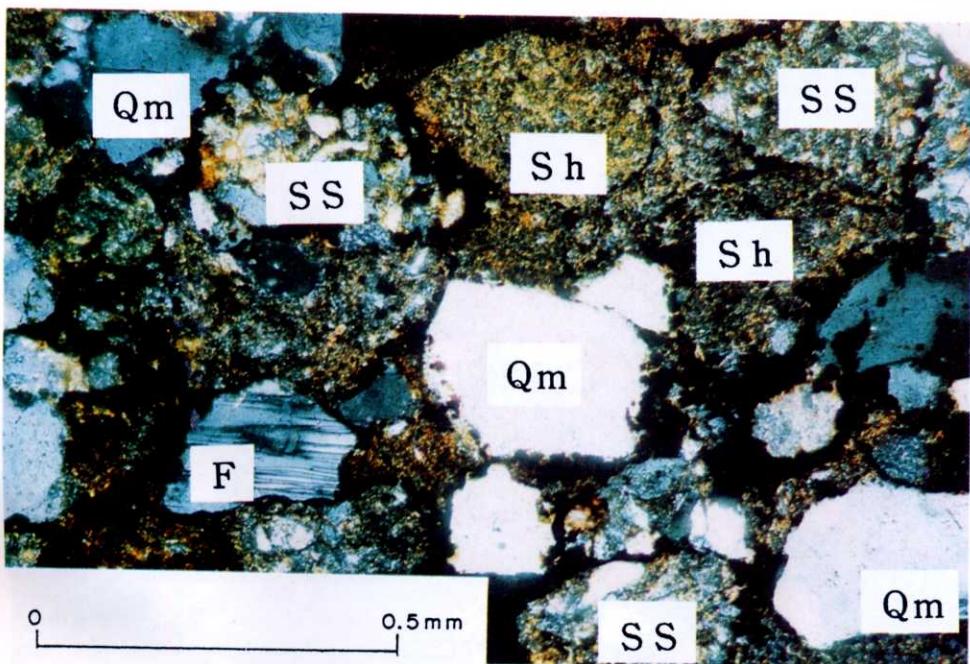
(12)基質(Mt)—有泥質(黏土礦物)、碳酸鹽與鐵質等。

大體而言，大禹嶺層、廬山層和佳陽層之岩性主要由板岩和千枚岩組成，夾有變質細砂岩或粉砂岩，板岩和千枚岩之片理均相當發達，因此本研究將這些地層視為板岩 II 型岩屑(SI II)的主要來源。至於變質細砂岩或粉砂岩則依片理之有無分別歸為變質砂岩岩屑(Ms)或具片理之變質砂岩岩屑(Fs)兩類，惟該兩種岩屑之含量不多。眉溪砂岩、達見砂岩和白冷層之岩性以白色或淺灰色中粒至粗粒石英岩為主，夾有板岩或硬頁岩，由於中粒至粗粒石英岩是這些地層中相當特殊之岩性，因此本研究將上述地層視為變質砂岩岩屑(Ms)之主要來源。水長流層主要是由硬頁岩和輕度變質的頁岩組成，片理較不發達，本研究將其視為板岩 I 型岩屑(SI I)之主要來源。至於中新世地層則可能為沈積岩岩屑(Ls)之主要來源。

除了顯微鏡下區分的 12 種礦物、岩屑與基質外，為便於討論，尚有綜合以上成份的分

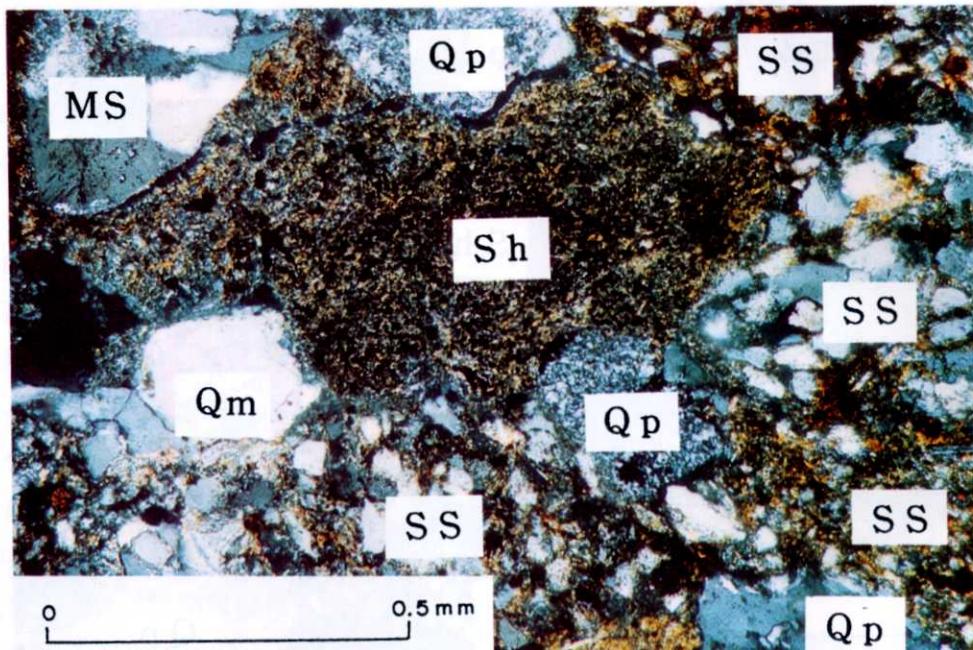


A、單晶質石英(Qm)，長石(F)，砂岩岩屑(Ss)，頁岩岩屑(Sh)(正交偏光)(樣品編號：軍功寮 10 號)

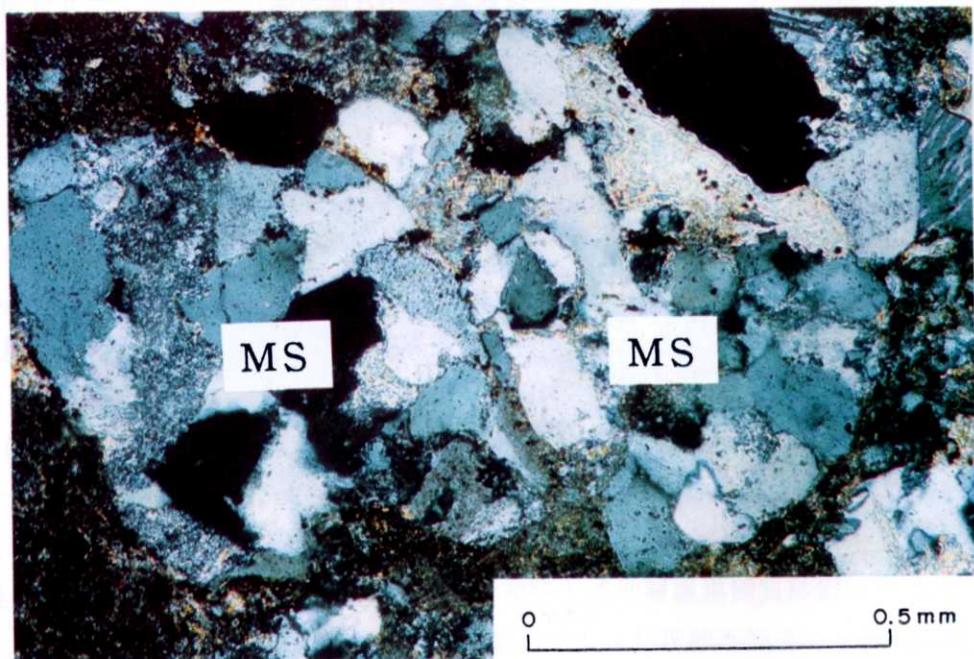


B、多晶質石英(Qp)，砂岩岩屑(Ss)，頁岩岩屑(Sh)，變質砂岩岩屑(Ms)(平面偏光)(樣品編號：軍功寮 32 號)

圖版 II

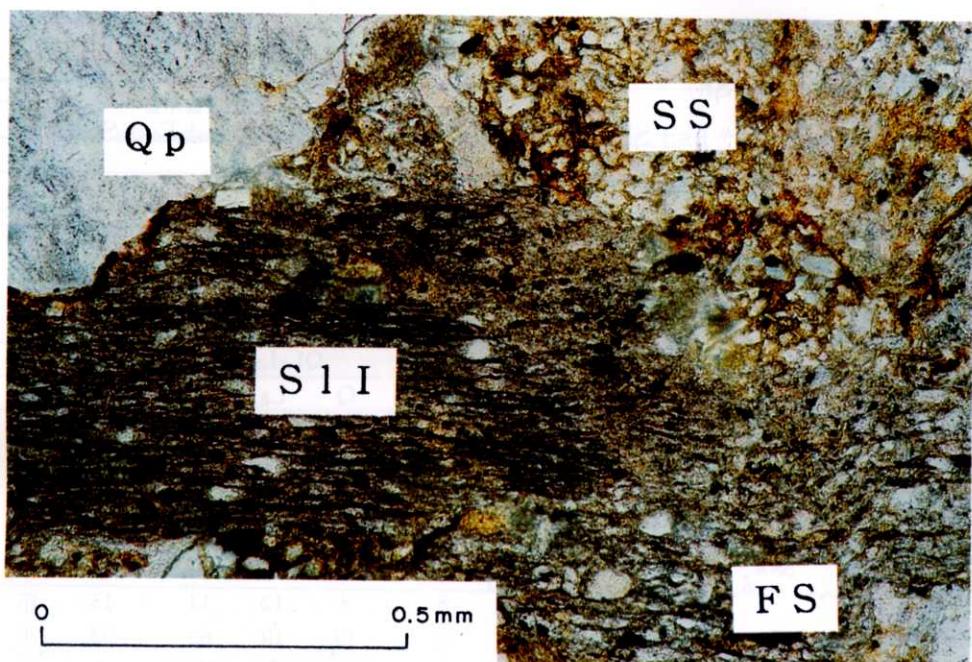


A、多晶質石英(Qp)，砂岩岩屑(Ss)，頁岩岩屑(Sh)，變質砂岩岩屑(Ms)(正交偏光)(樣品編號：軍功寮 32 號)

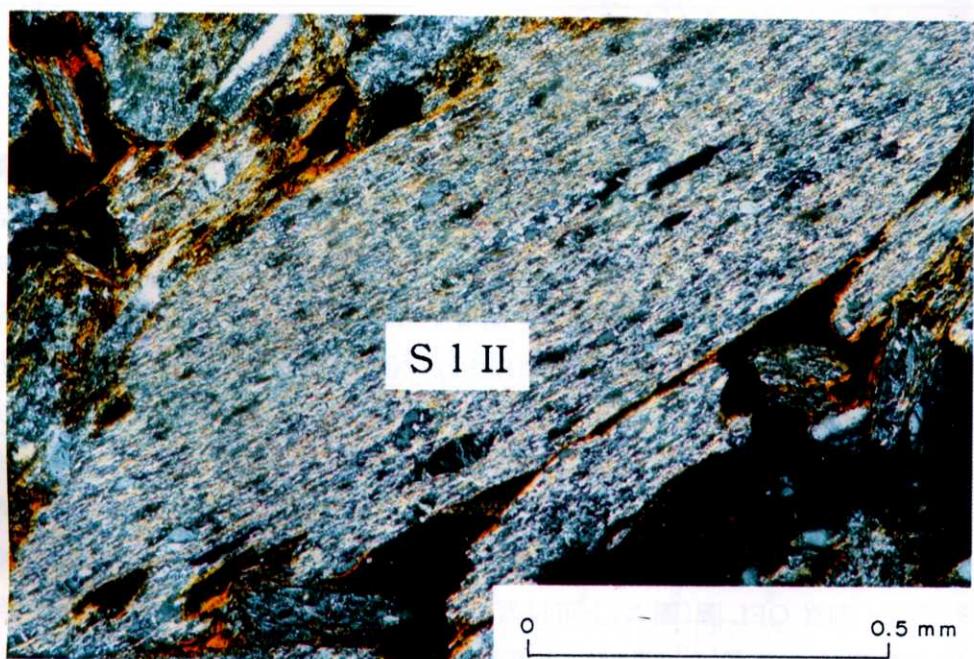


B、變質砂岩岩屑(正交偏光)(樣品編號：軍功寮 30 號)

圖版III



A、板岩I型岩屑(SI I)，具片理之變質砂岩岩屑(Fs)(平面偏光)(樣品編號：軍功寮31號)



B、板岩II型岩屑(正交偏光)(樣品編號：八卦山2號)

類如下：

- (1)石英($Q = Q_m + Q_p$)
- (2)沈積岩屑($L_s = S_s + S_h$)
- (3)變質岩屑($L_m = M_s + F_s + S_l I + S_l II$)；又再細分為 $L_{ml} = M_s + F_s + S_l I$
- (4)不含多晶質石英岩屑($L = L_s + L_m + L_v$)

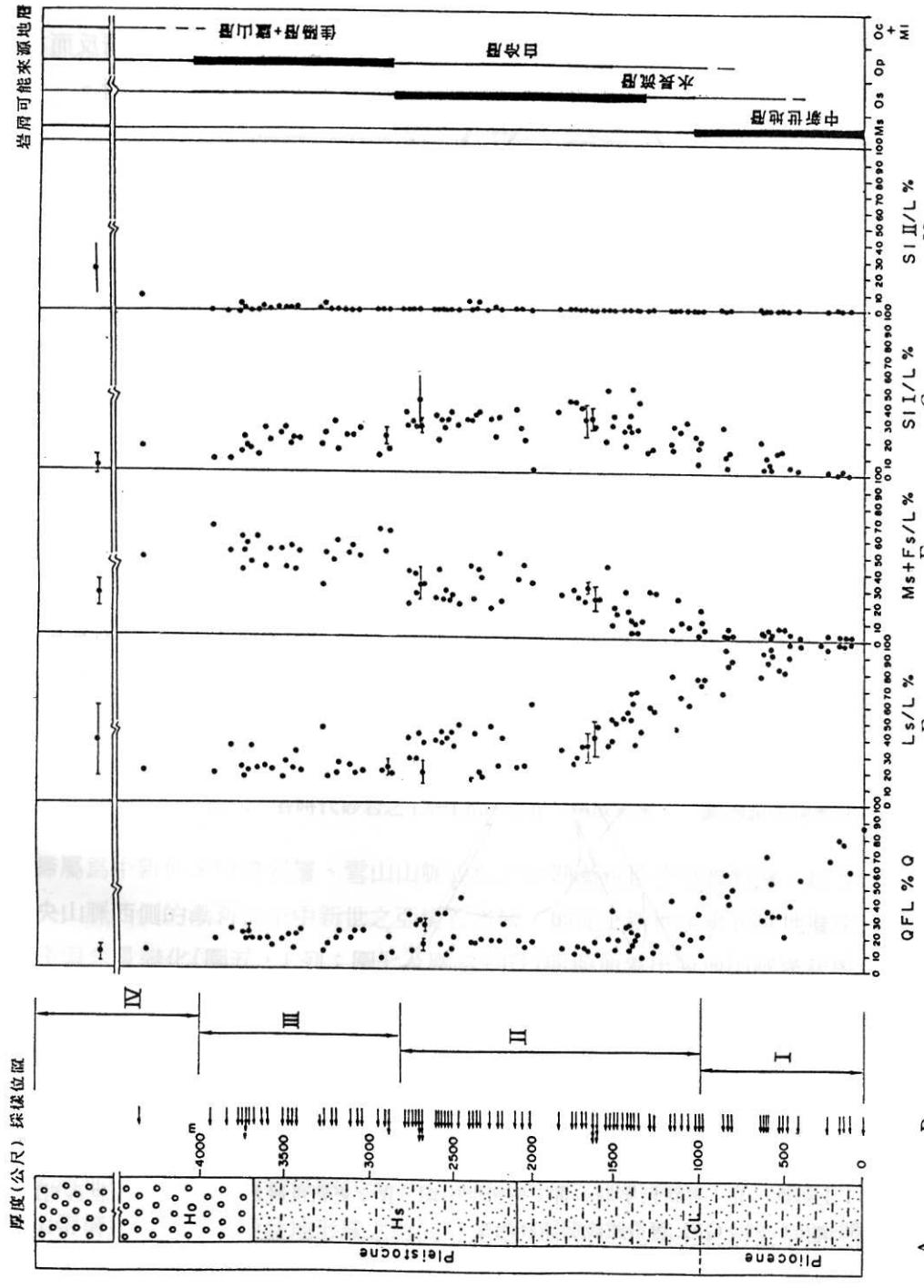
各岩樣經分類後之結果如表二所示。

表二 各時代砂岩組成之平均值與標準差

代號	時代	標本數	QFL%			QLsLm%			LsLmlSl II %		
			Q	F	L	Q	Ls	Lm	Ls	Lml	Sl II
M	中新世晚期	15	平均值	95	4	1	—	—	—	—	—
			標準差	2	1	2					
I	上新世	20	平均值	50	1	48	51	42	7	88	12
			標準差	18	1	19	19	14	6	9	0
II	更新世早期	58	平均值	20	0	80	20	33	47	42	57
			標準差	8	0	8	8	12	14	15	1
III	更新世中期	27	平均值	19	0	81	19	19	62	23	76
			標準差	5	0	5	5	6	7	7	1
IV	更新世晚期	5	平均值	10	0	89	11	32	58	35	43
			標準差	4	0	4	4	17	15	17	13

岩象分析結果

岩象分析結果顯示中新世晚期桂竹林層砂岩富含石英，並含一些長石，岩屑含量則甚少。而上新世至更新世之卓蘭層與頭嵙山層砂岩則富含岩屑，長石含量甚少。從各種岩屑含量之縱向變化趨勢來看(圖五)，則上新統至更新統砂岩中的石英含量有愈往上愈少，亦即岩屑含量愈往上愈多之趨勢(圖五，D列)。卓蘭層下部砂岩所含之岩屑以沉積岩岩屑為主，往上變質岩岩屑含量漸增，迄頭嵙山層香山相中段以後變質岩岩屑已成為主要的岩屑種類(圖五，E列)。變質砂岩岩屑相對含量呈現明顯的漸增趨勢，惟迄更新世晚期則有減少之趨勢(圖五，F列)。板岩I型的相對含量有先漸增而後逐漸稍減的趨勢(圖五，G列)，板岩II型則自火炎山相上段之後才陸續增多(圖五，H列)。再從傳統的三角圖來看，如果考量各種岩屑含量之縱向變化趨勢，將地層柱分為四段分別對應於上新世及更新世早、中、晚期如圖五C列所示，則從QFL圖(圖六)上可以看出，自桂竹林層以迄頭嵙山層，其石英含量漸減而岩屑含量漸增的趨勢。如果進一步嘗試採用QLsLm及LsLmlSl II三角圖，則從QLsLm圖(圖七)可明顯看出上新一更新世砂岩由早期石英含量較多，並含一些沉積岩岩



屑，逐漸變為以含岩屑為主，且變質岩岩屑含量逐漸增加之綜合趨勢。而 LsLmlSl II 圖(圖八)則明示岩屑種類由早期以沉積岩岩屑為主，漸變為以變質岩岩屑為主，而後板岩 II 型岩屑開始出現並增多之趨勢。

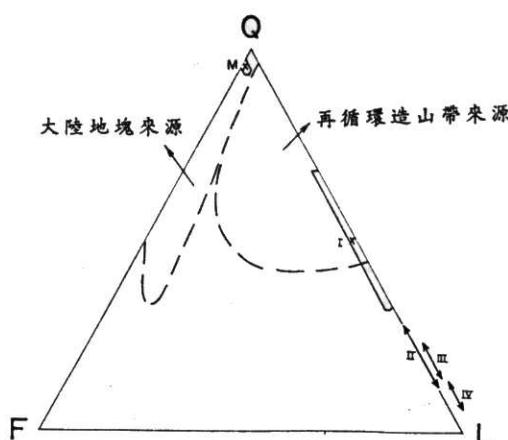
值得注意的是，晚期更新世以後，伴隨著板岩 II 型岩屑之大量出現，沉積岩岩屑反而有增加，而變質砂岩岩屑則減少，這種現象可能與本區的構造演化有關，將於下節探討。

討 論

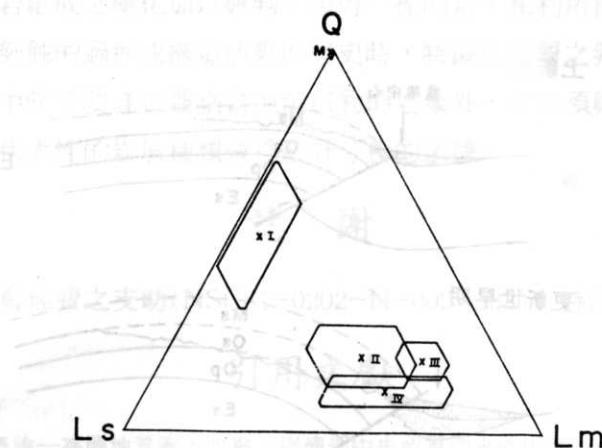
一、根據 Dickinson 與 Suczek(1979)的分類，桂竹林層砂岩屬於穩定大陸地塊來源，而卓蘭層以上岩層中的沉積物則來自造山帶(圖六)。就臺灣地區地質構造環境而言，穩定大陸地塊來源應位於西方，而造山帶來源則應位於東方，因此岩象分析結果所指示的來源區方位與古水流相吻合。

二、晚期更新世砂岩，除了板岩 II 型岩屑大量出現外，沉積岩岩屑有增多之趨勢，而變質砂岩岩屑含量則變少。由於晚期更新世岩樣主要採自車籠捕逆斷層以西之八卦山區，因此沉積岩岩屑增多可能係因該逆斷層作用導致其東側上新世至更新世地層隆起受蝕之結果。至於變質砂岩岩屑比率減少則可能為來源區供應量減少或是因板岩 II 型與沉積岩岩屑含量增加所造成比率遞減效果。

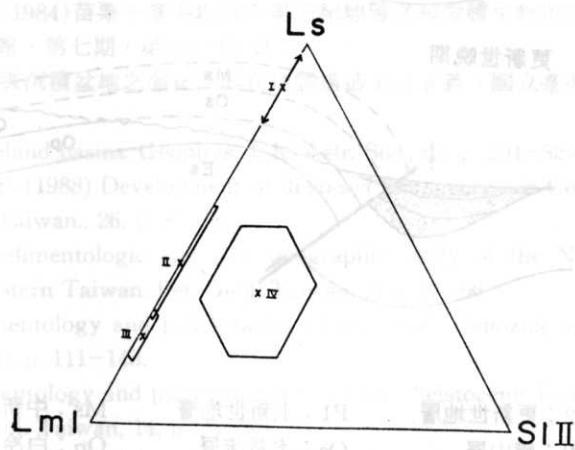
三、如果將沉積岩岩屑、板岩 I 型岩屑、變質砂岩岩屑以及板岩 II 型岩屑之來源地層分



圖六 各時代砂岩之 Q-F-L 三角成分圖。「X」表平均值，多邊形與箭頭記號表標準差範圍，詳細數值請參閱表二；大陸地塊與再循環造山帶來源之範圍係根據 Dickinson 與 Suczek(1979)；M：中新世晚期，I：上新世，II：更新世早期，III：更新世中期，IV：更新世晚期，上新—更新世砂岩段之劃分請參閱圖五 C 列；QFL 等符號說明請詳內文。



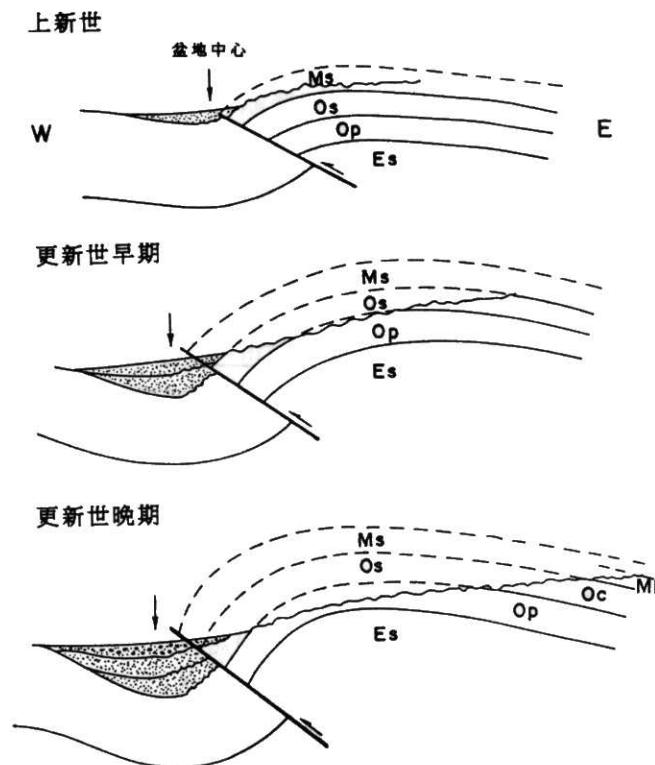
圖七 各時代砂岩之 Q-Ls-Lm 三角成分圖。(圖例說明請參閱圖六)



圖八 各時代砂岩之 Ls-Lml-SI II 三角成分圖。(圖例說明請參閱圖六)

別歸屬為中新世未變質岩層、雪山山脈西側之晚期漸新世亞變質岩層，以及雪山山脈東側與中央山脈西側的漸新世至中新世之亞變質岩層，則從上新世至更新世地層中出現各種岩屑的順序與含量變化(圖五, I列；圖七及圖八)可以明顯地看出腹地山脈隆起與剝蝕的過程—上新世時在臺灣中部來源區造山帶出露的岩層以未經變質的沉積岩為主；而早期更新世時在來源區山脈出露的岩層則以亞變質岩(雪山山脈岩層)為主；至晚期更新世時其沈積的物的來源區則可能涵蓋到雪山山脈東側或中央山脈板岩岩層(圖九)。

四、由於岩象分析結果指示中新世晚期砂岩與上新世至更新世砂岩之來源區迥然不同，而上新世至更新世沉積物可能代表造山同時之前陸盆地沉積物。因此吾人可以推測台灣中部造山帶構造活動與前陸盆地形成之時間可能始於中新世晚期至上新世早期之間。



P2：更新世地層 P1：上新世地層 Ms：中新世地層
Mi：廬山層 Os：水長流層 Op：白冷層
Oc：佳陽層 Es：十八重溪層
各時代河流侵蝕之層位

圖九 前陸盆地演化與腹地山脈隆起剝蝕過程示意圖。

結 論

由於造山帶與前陸盆地在成因上關係密切，因此前陸盆地沈積物組成常被視為探討造山歷史與盆地發育過程的重要指標。本研究以臺灣中西部晚期新生代之中、粗粒砂岩為材料，進行岩象分析結果。研究結果顯示上新世至更新世砂岩組成記錄著相當完整的腹地隆起與剝蝕過程。同時，根據中新世晚期砂岩與上新世至更新世砂岩組成之差異，可以推測臺灣中西部造山帶構造活動與前陸盆地形成的時間，約發生在中新世晚期至上新世早期之間。更後期

之構造活動亦可由砂岩組成之變化加以研判。值得一提的是，在利用構造同時前陸盆地沈積物反推來源區隆起與剝蝕的過程或構造活動的歷史時，特徵性岩屑之判釋是一項相當重要的工作，在判釋的過程中除了要詳細觀察盆地沉積物的岩象外，並必須與可能來源區的岩性仔細比對，才能選得具代表性的岩屑種類做為統計分析的依據。

誌謝

本研究承蒙國科會經費之支助(NSC81-0202-N-002-533)，特此誌謝。

引用文獻

- 何春蓀(1986)臺灣地質概論—臺灣地質圖說明書。經濟部中央地質調查所出版，台北，163頁。
- 周瑞燉與黃集宗(1959)臺灣苗栗出磺坑煤田地質。臺灣出磺坑煤田探勘報告，第3~13頁。
- 紀文榮、梅文威、吳榮章(1984)苗栗—臺中地區新第三紀地層之超微體生物地層研究。中國石油公司探採研究中心探採研究彙報，第七期，第52~68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。國立臺灣大學地質學研究所博士論文，304頁。
- Beaumont, C. (1981) Foreland basins. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 65, p. 291~329.
- Chen, W. S. and Wang, Y. (1988) Development of deep-sea fan systems in Coastal Range basin, eastern Taiwan. *Acta Geol. Taiwan.*, 26, p. 37~56.
- Chou, J. T. (1971) A sedimentologic and paleogeographic study of the Neogene formations in the Taichung region, western Taiwan. *Pet. Geol. Taiwan*, 9, p. 43~66.
- Chou, J. T. (1973) Sedimentology and paleography of the upper Cenozoic system of western Taiwan. *Pet. Geol. Taiwan*, 10, p. 111~143.
- Chou, J. T. (1977) Sedimentology and paleogeography of the Pleistocene Toukoshan Formation in western Taiwan. *Pet. Geol. Taiwan*, 14, p. 25~36.
- Chou, J. T. (1980) Stratigraphy and sedimentology of the Miocene in western Taiwan. *Pet. Geol. Taiwan*, 17, p. 33~52.
- Covey, M. (1984) Lithofacies analysis and basin reconstruction, Plio-Pleistocene western Taiwan foredeep. *Pet. Geol. Taiwan*, 20, p. 53~83.
- DeCelles, P. G., Gray, M. B., Ridgway, K. D., Cole, R. B., Srivastava, P., Pequera, N. and Pivnik, D. A. (1991) Kinematic history of a foreland uplift from Paleocene synorogenic conglomerate, Beartooth Range, Wyoming and Montana. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 103, p. 1458~1475.
- Dickinson, W. R. and Suczek, C. A. (1979) Plate tectonics and sandstone composition. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 63, p. 2164~2182.
- Dorsey, R. J. (1988) Provenance evolution and unroofing history of modern arc-continent collision: evidence from petrography of Plio-Pleistocene sandstone, eastern Taiwan. *J. Sed. Petrol.*, 58, p. 208~218.
- Graham, S. A., Ingersoll R. V. and Dickinson, W. R. (1976) Common provenance for lithic grains in Carboniferous sandstones from Ouachita Mountains and Black Warrior basin. *J. Sed. Petrol.*, 46, p. 620~632.
- Graham, S. A., Tolson, R. B., DeCelles, P. G., Ingersoll, R. V., Bargar, E., Caldwell, M., Cavazza, W.,

- Edwards, D. P., Follo, M. F., Handschy, J. F., Lemke, L., Moxon, I., Rice, R., Smith, G. A. and White, J. (1986) Provenance modelling as a technique for analyzing source terrane evolution and controls on foreland sedimentation. In: Allen, P. A. and Homewood, P. (eds.), *Foreland Basins*. Int. Assoc. Sed. Spec. Publ., 8, p. 425–436.
- Huang, Tunyow. (1978) Significant new look on the Tertiary stratigraphy of Taiwan. *Pet. Geol. Taiwan*, 15, p. 167–179.
- Ingersoll, R. V., Cavazza, W. and Graham, S. A. (1987) Provenance of impure calcilithites in the Laramide foreland of southwestern Montana. *J. Sed. Petrol.*, 57, p. 995–1003.
- Ingersoll, R. V. and Suczek, C. A. (1979) Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP sites 211 and 218. *J. Sed. Petrol.*, 49, p. 1217–1228.
- Jordan, T. E. (1981) Thrust loads and foreland basin evolution, Cretaceous, western United States. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 65, p. 2506–2520.
- Karner, G. D. and Watts, A. B. (1983) Gravity anomalies and flexure of the lithosphere at mountain range. *J. Geophys. Res.*, 88, p. 10449–10472.
- Lawton, T. F. (1986) Compositional trends within a clasic wedge adjacent to a fold-thrust belt: Indianola Group, central Utah, U.S. A. In: Allen, P. A. and Homewood, p. (eds.), *Foreland Basins*. Int. Assoc. Sed. Spec. Publ., 8, p. 411–423.
- Lee, P. J. (1963) Lithofacies of the Toukoshan–Cholan Formation of western Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, 6, p. 41–50.
- Teng, L. S. (1979) Petrographical study of the Neogene sandstones of the Coastal Range, eastern Taiwan (I, northern part). *Acta Geol. Taiwan*, 20, p. 129–155.
- Teng, L. S. (1990) Geotectonic evolution of late Cenozoic arc-continent collision in Taiwan. *Tectonophysics*, 183, p. 57–76.
- Van der Plas, L. and Tobi, A. C. (1965) A chart for judging the reliability of point counting results. *Am. J. Sci.*, 263, p. 87–90.
- Wang, Y. (1987) Continental margin rifting and Cenozoic tectonics around Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China*, 9, p. 227–240.

PETROGRAPHICAL STUDY OF FORELAND SANDSTONES AND ITS RELATION TO UNROOFING HISTORY OF THE FOLD-THRUST BELT IN CENTRAL TAIWAN

Zen-Hwa Chen¹, Wen-Shan Chen¹, Yuan Wang and Mien-Ming Chen¹

ABSTRACT

Due to the genetic relation between the foreland basin and orogenic belt, petrographic study of foreland sediments is used as an important tool to unravel the orogenic history and basin development of the fold-thrust belt of Taiwan.

The result of a petrographical analysis of late Cenozoic foreland sandstones in the central western Taiwan shows that the late Miocene Kueichulin sandstones are rich in quartz, with a few feldspars and very few lithic fragments. In contrast, the Plio-Pleistocene Cholan and Toukoshan sandstones are rich in lithic fragments with very few feldspars. Furthermore, these sandstones are characterized by that the contents of lithic fragments in the upper parts are higher than those in the lower parts. According to the classification of Dickinson and Suczek (1979), the Kueichulin sandstones must have had continental block provenances and the sediments of the Plio-Pleistocene terrane were shed from orogenic belts. With respect to the vertical trend of individual clast type, from Pliocene to Pleistocene, sandstones became progressively depleted in sedimentary lithic fragments and enriched in metasedimentary lithic fragments. Among metasedimentary lithic fragments, the relative proportion of metasandstone increases upward conspicuously. Based on the degree of cleavage development, the lithic fragments of slates can be subdivided into two types: Type I and Type II. The content of lithic fragments of Type I slate increases upward slightly at first and then decreases gradually. Type II slate occurred in late Pleistocene and its content increases upward.

The combined compositional trends of the Plio-Pleistocene sandstones provide a record of uplifting and unroofing history of the Taiwan orogen. In Pliocene, sedimentary terrane were the major source rocks outcropped in the central Taiwan. And then, the submetamorphic strata at depth were uplifted and exposed to erosion, forming Hsusehan Range terrane. In late Pleistocene, the extent of the source area might have encroached on the slate formations in the east limb of Hsueshan Range or even on Central Range.

1. Institute of Geology, National Taiwan University