

## 第四章討論

### 4.1 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代的地質意義

為解釋分析樣本的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代意義，必須對東久-米林變質帶的變質溫壓條件及定年礦物的封存溫度做詳細的討論，才能確定本研究工作測得的樣本年代與剪切作用發生時間的關係。

#### 4.1.1 東久-米林剪切帶的變質溫壓

根據丁林和鐘大賚 (1999) 在南迦巴瓦構造結地區出露的高壓麻粒岩研究結果顯示，其變質溫壓範圍為 594~726 和 0.5~0.6Gpa 的變質作用。但上述研究只限於剪切帶北段，無法確定整個變質帶是否都經過同樣的變質作用，而且對變質作用的確切溫度條件也缺乏良好的控制。

電子微探分析所得的石榴子石、黑雲母化學成分與計算結果，整理於圖 3-10，由化學成分可知，石榴子石的成分以鐵端元為主。最後計算得到  $\text{Fe}/\text{Mg}+\text{Fe}$  於石榴子石與黑雲母間的分配係數  $K_D$  值為 8.6，雖然利用石榴子石-黑雲母地質溫度計只能算出一條線性，但由於岩石中有藍晶石的出現，可以大致確定變質溫壓的範圍約在  $T=540$  左右， $P>5$  Kbar 間 (圖 3-10)，此一估計值與上述丁林和鐘大賚 (1999) 在東久-米林北段的研究結果接近。由此，推論東喜馬拉雅構造結地區之區域變質作用，均已達角閃岩相，且變質溫度條件均高於  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  定年系統所使用的礦物之封存溫度 ( $< 550^\circ\text{C}$ )，亦即對  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  定年系統來說，由各種不同礦物所得到的年代資料，均應反應礦物中氬同位素系統的封存時間，因此可以提供東久-米林岩體變質之後的冷卻抬升歷史。唯由石榴子石內破碎情形看來，似乎指示著岩體在高度變質及抬升後，曾受另一期的變質作用。

#### 4.1.2 東久-米林剪切帶 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代之地質意義

本研究工作依據 Dodson (1973) 提出的礦物中同位素封存溫度公式，配合

前人已求得的擴散參數，計算各個礦物之封存溫度，計算結果如附錄 F 所示，本研究將藉此探討岩體在抬升過程中之冷卻歷史。

對角閃石而言，封存溫度可能十分接近或低於變質溫度左右，而黑雲母的變質溫度已超過其封存溫度，因此變質作用會將礦物內之氫同位素系統完全重置，氫同位素系統使其紀錄的將是岩體受到剪切作用而抬升的年代，由表 4-1 整理的定年結果也可以看出相當有一致性。而白雲母樣本也是相同情況，但由於其封存溫度較黑雲母高一些，因此封存的時間會比黑雲母早。

#### ● 東久-米林剪切帶北段

T012 採樣點：本採樣點的樣品分析為一糜嶺狀片麻岩中的黑雲母及白雲母，所得之合理的坦原年代分別為  $11.21 \pm 0.02$  Ma 及  $14.25 \pm 0.01$  Ma。對黑雲母樣本而言，由於變質溫度已超過其封存溫度，因此變質作用會將同位素系統完全重置，使其紀錄下剪切作用的時間，而白雲母樣本也是相同情況，且由於其封存溫度較黑雲母高一些，因此封存的時間會比黑雲母早，定年結果反映了此事實。因而得到一個冷卻速率。

T014 採樣點：此採樣點分析了黑雲母、角閃石及鉀長石三種礦物，均有良好的坦原年代，黑雲母及鉀長石之合理的坦原年代分別為  $0.82 \pm 0.01$  Ma 及  $1.04 \pm 0.01$  Ma，而角閃石受到超氫影響，由同位素對比圖可知此部分的截距年代雖與較高溫部分的坦原年代（ $12.91 \pm 0.39$  Ma）一致，但其年代譜出現異常狀況，與其他礦物的年代差異甚大，因此紀錄到的年代應是超氫之存在所導致。而 T014 鉀長石的多重擴散區間模擬結果顯示，樣本經歷一次快速冷卻階段，在 0.82 Ma 左右，由 300 抬升冷卻至地表附近。

#### ● 東久-米林剪切帶中段

T009 採樣點：此採樣點的岩石樣本中，定年分析的礦物有黑雲母及白雲母。所得之坦原年代分別為  $17.24 \pm 0.02$  Ma 和  $16.92 \pm 0.02$  Ma，若考慮封存溫度則

表 4-1. 東久-米林剪切帶之  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  定年結果

Specimen	Rock type	Mineral dated	Integrated age ( Ma±1 )	Plateau age ( Ma±1 )	Isotope diagram			
					Intercept age	( $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ) <sub>i</sub>	MSWD	
T012	Gneiss	Bt.	11.14 ± 0.02	<b>11.21 ± 0.02</b>	11.17 ± 0.02	291 ± 10	3.2	
		Mus.	14.50 ± 0.01	<b>14.25 ± 0.01</b>	14.23 ± 0.08	288 ± 9	4.2	
T014	A	Gt. Gneiss	Bt.	0.86 ± 0.01	<b>0.82 ± 0.01</b>	0.72 ± 0.04	309 ± 1	1.2
			Kfs.	1.35 ± 0.02	<b>1.04 ± 0.01</b>	0.26 ± 0.16	319 ± 3	3.8
	B	Amphibolite	Hb.	27.56 ± 0.46	12.91 ± 0.39	15.47 ± 2.53	286 ± 8	3.4
T009A	Gneiss	Bt.	<b>16.50 ± 0.02</b>	17.24 ± 0.02	17.70 ± 0.24	279 ± 11	2.3	
		Mus.	17.04 ± 0.02	<b>16.92 ± 0.02</b>	16.88 ± 0.10	293 ± 12	3.0	
T010	Gneiss	Bt.	16.70 ± 0.02	<b>16.76 ± 0.02</b>	16.61 ± 0.08	308 ± 7	3.2	
		Kfs.	17.28 ± 0.02	<b>10.99 ± 0.01</b>	7.66 ± 1.64	639 ± 128	10.6	
T017B1	Bt. Schist	Kfs.	20.98 ± 0.08	10.26 ± 0.09	6.76 ± 18.84	317 ± 67	5.1	
T017B2	Bt. schist	Hb.	10.71 ± 0.12	8.43 ± 0.10	8.84 ± 0.38	289 ± 8	3.1	
T018A	Schist	Bt.	8.89 ± 0.01	<b>8.87 ± 0.01</b>	8.83 ± 0.02	297 ± 1	2.4	
		Kfs.	61.00 ± 0.34	17.35 ± 0.61	-	-	-	

礦物縮寫：Bt.: Biotite; Mus.: Muscovite; Hb.: Hornblende; Kfs.: K-feldspar

黑色粗體字：表示最後決定採用的年齡

出現不合理的狀態，但由於黑雲母有一點綠泥石化使得年代譜在低溫部分到影響，由同位素對比圖中可知此部分的截距年代與較高溫部分的坦原一致，因此在選擇年代時應將年代譜重新校正並視為完全平坦，以總合年代(  $16.50 \pm 0.02$  Ma )作為合理的年代。因而得到合理的結果，不過由黑雲母及白雲母的年代結果，配合封存溫度的概念，會發現此樣本的抬升速率或許十分快速，以致於白雲母與黑雲母所呈現的年代極為接近。

T010 採樣點：分析的樣本為來自片麻岩中的黑雲母及鉀長石，黑雲母的年齡落在  $16.76 \pm 0.02$  Ma，而鉀長石的坦原年代為  $10.99 \pm 0.01$  Ma。同一採樣點所得之礦物年齡，合乎不同礦物之封存溫度的大小關係；也就是黑雲母的年齡大於鉀長石的年齡，此樣本結果反映了單一冷卻事件的事實，因此在此樣本所紀錄的冷卻時間，有一個冷卻速率是較為緩慢的時期。

#### ● 東久-米林剪切帶南段

T017 採樣點：此採樣點分析兩個皆來自雲母片岩的角閃石及鉀長石。T017B2 角閃石坦原年代(  $8.43 \pm 0.10$  Ma )與 T014B 角閃石的坦原年代(  $12.91 \pm 0.39$  Ma )是不具地質意義，由於 Ca/K 比值太高，為含有雜質的角閃石礦物分析結果，因此反映出的年代譜是不具意義。而 T017B1 鉀長石的坦原年代為  $10.26 \pm 0.09$  Ma，也反映可能為斜長石的年代紀錄，岩石樣本紀錄了不是鉀長石的冷卻年代歷史。因此 T017 採樣點的分析結果皆不加入討論範圍。

T018 採樣點：此採樣點分析的樣本有黑雲母及鉀長石，來自位於在剪切帶的最南邊端，仍在東久-米林剪切帶上的一部分，採集的標本為雲母片岩，分析的礦物包括黑雲母及鉀長石。黑雲母的坦原年代為  $8.87 \pm 0.01$  Ma，年代年輕於前述所有同種礦物之分析結果。而鉀長石的年代因受到嚴重超氫成分的影響，高於黑雲母的年代，而不能模擬和代表岩體的冷卻歷史，所以鉀長石在此不加入討論。

以上分析東久-米林剪切帶北、中、南三段的定年結果顯示，年代與剪切帶

位置似無相對應的系統關係，都分別紀錄到不同變質作用事件的時間。將所得的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  定年資料，綜合來看，東久-米林區域變質與冷卻歷史似乎相當複雜，似乎分別紀錄到不同變質作用事件的時間。首先在剪切帶北段 14~11 Ma 有一次岩體冷卻的年齡（圖 4-1），隨後在 1 Ma 後突然發生一個快速冷卻，而在剪切帶中段 17~16 Ma 有一次快速冷卻，因此一快速降溫的發生時間隨所在岩體的位置不同有所差異，到了剪切帶南段在 8 Ma 左右為一期較強烈的剪切作用。

由於冷卻歷史與其他礦物的封存資料互異，且沒有足夠的分析量作比較，因此相異的冷卻年代可能是遭受不一致的早期（16 Ma）或晚期（< 1 Ma）剪切作用的或是熱事件所紀錄的冷卻年代。而由此露頭各種岩性岩石相互參雜的情形來看，岩體確實所經歷的剪切作用的確十分複雜，可以確認的是，有可能紀錄到一次較強烈的剪切作用是在 16 Ma 左右，另一次受熱事件影響的時間是在 1 Ma 左右。

## 4.2 東久-米林剪切帶的活動歷史

綜合 4-1 節的討論，可以確定東久-米林剪切帶的左移活動發生在始於 17-8 Ma 間（圖 4-1A），左移活動在長近 200 公里的剪切帶上有不等時現象的發生的現象。而剪切帶活動的開始與變質岩體大規模剝蝕抬升的時間也不一致。基本上，變質岩體大規模剝蝕抬升稍晚於雲母礦物所紀錄的剪切帶活動開始時間。依據若將黑雲母樣本的年代作為剪切活動的發生時間，剪切帶的左移活動以中段最早，約在 17 Ma 即開始。剪切帶北段的活動時間在 14~11 Ma 左右，後期有一剝蝕抬升或變質作用發生於約在 1 Ma 左右。而剪切帶南段的活動約在 8 Ma，由於剪切帶南段沒有進行鉀長石多重擴散區間理論的模擬，資料稍微少量，故以斷裂帶上其它樣本無法年代來確定東久米林變質岩體的活動歷史。

大致上來看，東久-米林變質岩體有幾次的快速冷卻時間，首先從 18 Ma 開始即緩慢的冷卻至 9 Ma，而自 300 降至 180 是一次快速冷卻（見圖 4-2）。接著到 >1 Ma 左右是另一次較快速的冷卻剝蝕，可能是南迦巴瓦構造結後期抬升

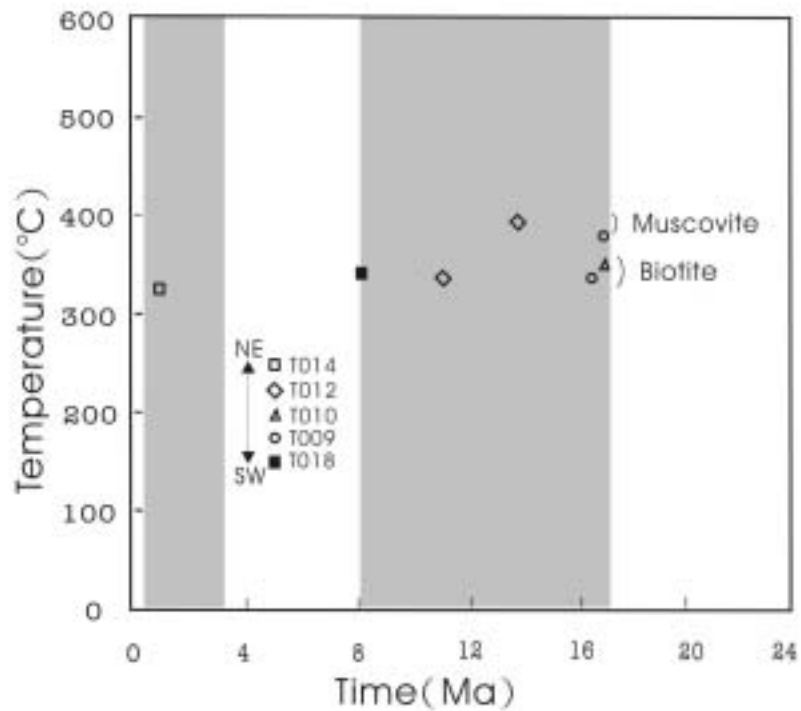
所留下的時間紀錄。

#### 4.3 東久-米林剪切帶的活動與鄰近地區構造活動的關係

在從東喜馬拉雅和南迦巴瓦構造結北界嘉黎剪切帶的關係方面，嘉黎斷裂帶錯移的年代是在 18~12 Ma ( Lee et al., 2003 )，是指歐亞板塊為調節印度大陸擠壓所造成的陸內變形所產生的塊體向東脫逸的南界（北界為鮮水河-小江剪切帶），隨著印度板塊傾斜碰撞，喀拉崑崙-嘉黎剪切帶構成一系列右移的大型剪切帶及東喜馬拉雅構造結擠入造成一系列東北-西南走向的由 Lee et al. ( 2003 ) 認為嘉黎斷裂帶錯移的年代是在 18~12 Ma，與東久-米林剪切帶活動年代有重疊（見圖 4-3A）。由上述演化歷史在相對年代上所提供的證據，是必須確定東久-米林剪切帶活動的時間和嘉黎剪切帶的關係，果真如此，則嘉黎斷裂的右移活動和本研究工作所得東久-米林錯移的活動時間相當一致，暗示東久-米林剪切帶可能是嘉黎斷裂的共軛斷裂帶。

如進一步比較東久-米林剪切帶與其他區域大型剪切帶的關係，可以進一步解釋東久-米林剪切帶的活動在碰撞作用所扮演的角色。由於東久-米林剪切帶位於東喜馬拉雅構造結之邊界斷層，所以與東構造結擠入造成的構造活動年齡相比較，可以來確認東久-米林剪切帶的活動歷史與時間關係。而碰撞造成的另一構造結 - 西構造結，與西構造結擠入造成的構造活動相比，以喀拉崑崙剪切帶錯移活動的時間相比（見圖 4-3B），發現有重疊的部分。再進一步觀察，紅河-哀牢山剪切帶的左移時間約在 27~17 Ma ( Wang et al., 1998, 2000 )，左移結束年代在 17 Ma ( Leloup et al., 1993 )，而高黎貢山剪切帶右移活動時間在 17~9 Ma，自 17 Ma 開始活動（許, 1999），由此推論而東構造結是何時擠入的，與週遭的斷裂系統大致看來在 17 Ma 應有一期大型的構造活動，而東久-米林剪切帶的左移活動年代約在 17~16 Ma 開始的，剛好與南海停止張裂活動的年代（約 16 Ma）一致（Lee and Lawer, 1995）。

(A)



(B)

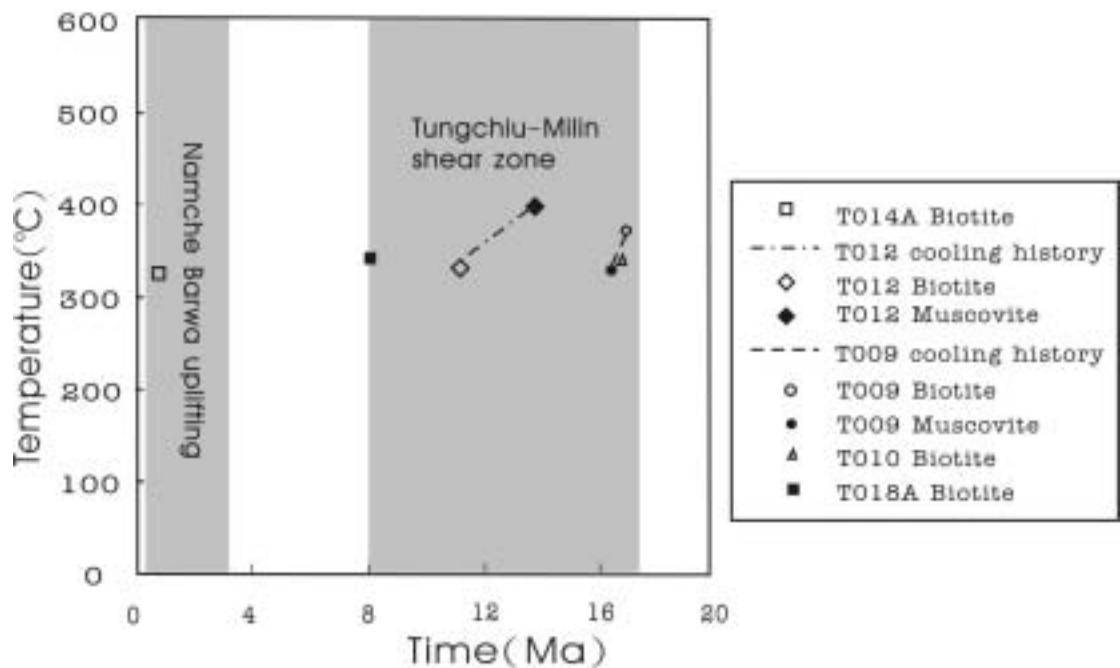


圖4-1. 東久-米林剪切帶之熱事件年代圖

(A) 各採樣點的熱事件年代分布

(B) 東久-米林剪切帶各個採樣點的礦物年代資料，及T009與T012採樣點的冷卻年代

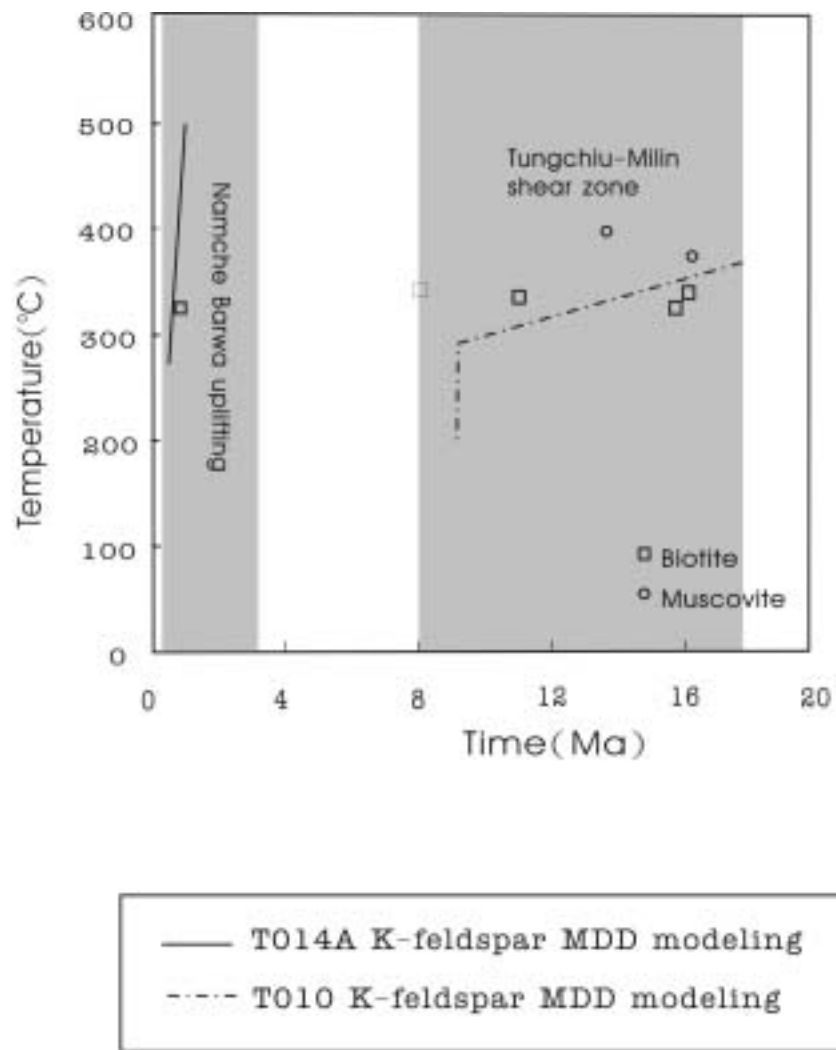


圖4-2. 各個採樣點的礦物年代資料和由鉀長石樣本所建立的冷卻歷史。



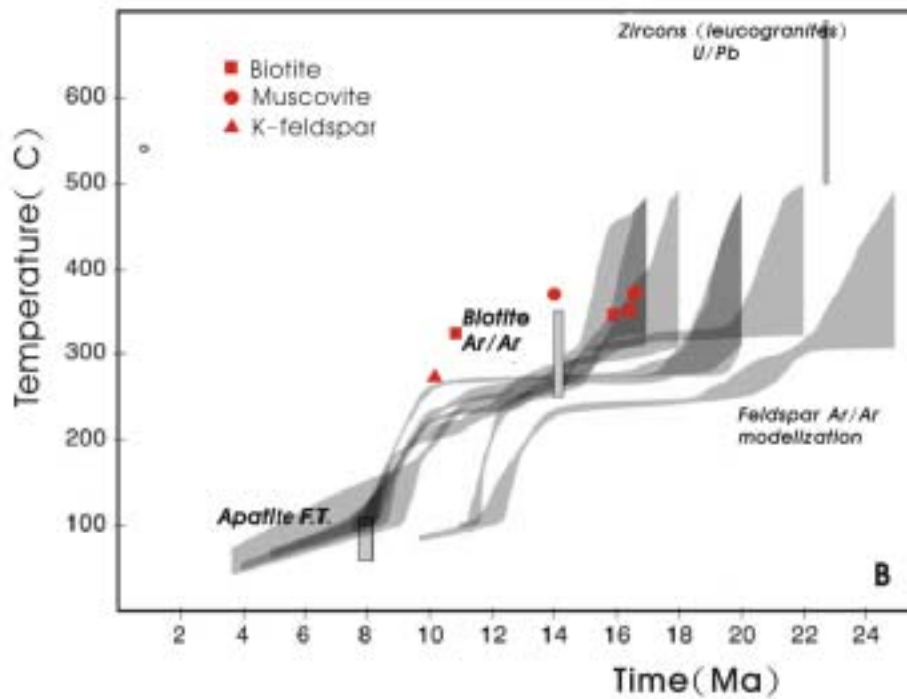
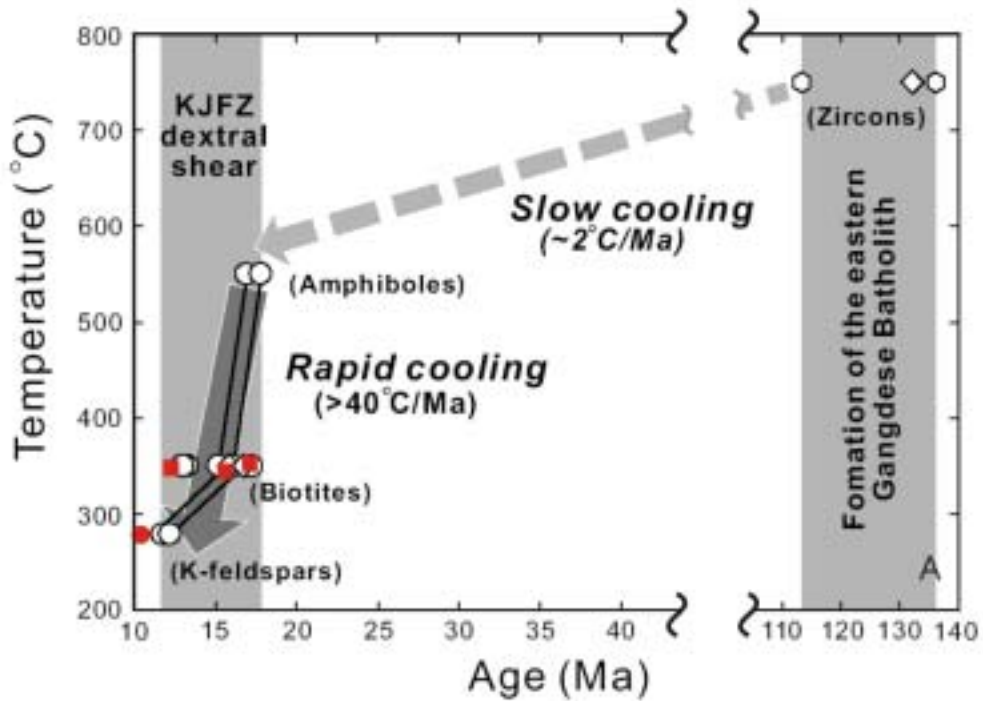


圖 4-3. 東久-米林剪切帶與嘉黎斷裂及喀拉崑崙剪切帶年代分布比較

A. 嘉黎剪切帶 (Lee et al., 2003)

B. 喀拉崑崙剪切帶 (Lacassin et al., 2004)

(紅色點代表東久-米林剪切帶)

此外東久米林剪切帶的活動，似乎也與西藏地殼內部活躍的變形活動相關，

根據 Burg (1984) 曾提出，歐亞板塊為調節印度大陸擠壓造成的陸內變形，所產生的張裂盆地為東西走向的伸展構造。之後，Searle (1995) 對喜馬拉雅中段 Thakkhola 盆地邊緣拆離斷層的研究，其活動年代為 14 Ma 左右與剪切帶北段的年代相當一致，接著張進江 (1999) 提出垂直於喜馬拉雅造山帶的伸展構造（曲松、普蘭、洛札和亞東盆地）形成年代為 16~13 Ma，年代範圍也與剪切帶活動的年代重疊。Blisniuk et al. (2001) 更提出西藏中部正斷層開始活動的時間至少在 13 Ma，且 Taylor et al. (2003) 的研究，指出印歐碰撞造成西藏東西向的拉張，而斷層的活動紀錄了同時代東西向的擴張與南北向的擠壓，在拉薩地塊出現一系列為西北-東南向及東北-西南向的共軛斷層系統。將上述的結果整理，一系列張裂構造活動年代約在 18~12 Ma，且，Blisniuk et al. (2001) 提出西藏中部開始張裂的時間約在 13.5 Ma。這些共軛斷層張裂系統構造活動應該是從中新世中期就已經開始了，而東久-米林剪切活動，似乎與西藏中、南部的伸張活動，亦有著相當調節之關係存在。。

對於東喜馬拉雅構造結整體的構造活動，Burg et al. (1998) 及 Ding et al. (2001) 亦提出東喜馬拉雅構造結（南迦巴瓦構造結）曾經經歷強烈構造活動，最早從新生代早期有構造熱事件的活動，而一直到上新世晚期，有一快速冷卻剝蝕抬升的歷史（約在 3 Ma），與研究結果（< 1 Ma）的年代相當一致。因此，南迦巴瓦構造結抬升亦似乎導致東久-米林剪切帶的再活動。