

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 台灣雪山山脈十八重溪層中劈理與褶皺 在空間與成因的關係

計畫類別： 個別型計畫      整合型計畫

計畫編號：NSC 89 - 2116 - M - 002 - 033 -

執行期間：89年8月1日至90年7月31日

計畫主持人：楊昭男

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：國立台灣大學地質學系

中 華 民 國      91 年      1 月      15 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 台灣雪山山脈十八重溪層中劈理與褶皺 在空間與成因的關係

計畫編號：NSC 89-2116-M-002-033

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：楊昭男 國立台灣大學地質學系

### 1. 摘要

在台灣雪山山脈中部，南投縣濁水溪北岸的雙龍地區，在一由十八重溪層中的一些薄層砂岩與薄層泥岩互層所構成的露頭上，展現有發育良好的劈理與褶皺共生的構造--在中型背斜構造的軸部與翼部，分別有對稱及非對稱的微褶皺構造；在微褶皺翼部則有劈理的發育。在中型背斜構造的兩翼，劈理在穿過不同岩性時，劈理面會明顯產生偏斜；但這種現象在中型背斜構造的軸部則不明顯。而本研究認為這個露頭上所展現的小型構造可以用來研究劈理與褶皺在成因上的演化關係。在透過中尺度下劈理與層面的幾何關係分析、微構造的觀察、以及福來法應變分析後，初步結果如下：

(一) 泥質岩層與粉砂岩層中的連續劈理與小型對稱微褶皺，是由於岩層橫向縮短作用而形成。而在微褶皺形成的同時，微褶皺岩層的翼部由於應力集中導致易溶物質（石英、方解石、斜長石）的壓溶並產生遷移，而殘留下的不易溶物質（雲母類礦物、不透明泥質物質）則相對富集，而形成與微褶皺包絡面的夾角約為90度的間距劈理。

(二) 中型背斜構造透過曲流作用的方式逐漸形成，微褶皺的形態以及劈理面也因此產生變化的層狀褶皺中，形成非對稱的微褶皺，以及於褶皺軸面兩側的岩層中形成呈扇形排列的劈理圖形。而另一方面，由於不同岩性的岩層，各具有不同的力學性質，對於外力的抵抗能力以及所產生的變形程度會有所不同；因此劈理面在由變形粉砂岩層進入相鄰泥質岩層時，劈理面會產生偏斜，而形成劈理的折

射現象。

### 2. 計畫緣由

在台灣的變質岩區中，隨處都可見到一些小型的褶皺與及與褶皺共生的劈理。依照國外的研究成果，早已意識到這些小型地質構造蘊藏著一個地區地質構造演化的信息。因此，要合理地解釋一個地區，尤其是變質岩區，區域性的地質構造及其演化，必須對這些小型地質構造的形制有所了解才行。以往對台灣雪山山脈地質的研究與調查，主要在於概括性的了解，因此大多注重於區域性地層的建立、地層的分布狀態為主，而這些小型的次生地質構造只是被用來幫助解釋岩層的分布而已，很少進一步研究小型地質構造的成因及形成時的環境。因此為了增加台灣變質岩地區地質構造演化的了解，實有必要加強對於小型地質構造的研究所。

本計畫依據過去調查的結果，發現在台灣雪山山脈中部，南投縣濁水溪北岸的雙龍地區，由十八重溪層中的一些薄層砂岩與薄層泥岩互層所構成的露頭上，非常漂亮地展現著發育良好的劈理與褶皺共生的構造(見圖1)。本計畫認為這個露頭可以作為一個最具代表性的一個案例，研究褶皺與劈理在形成過程中在時間上與空間上相互之間的關係。

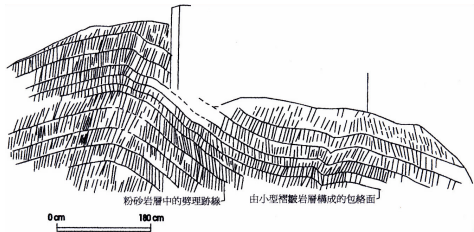


圖 1

### 3. 計畫目的

本計畫的主要目的在於從現在所觀察到的褶皺劈理的幾何關係，研究組成岩層的材料在形成褶皺與劈理的過程中，其變形機制在時間上與空間上相互之間的關係。

從褶皺理論與劈理形成理論下，分析褶皺岩層中的劈理面和褶皺岩層層面的幾何關係，由此關係和由理論上於不同褶皺變緊方式下所推導出的相關數學式，來作比對與探討；再配合岩石組構分析以嘗試建立本地區岩石劈理的發育，相對於岩層褶皺過程的時間、空間關係。所以本研究甚具構造地質學方面的潮流性，並能提供本區岩石劈理發育與褶皺作用的相對時間與空間關係；對於雪山山脈地質構造的了解以及台灣地質演變史的推論亦將會有進一步的幫助。

### 4. 研究結果

在台灣雪山山脈中部，南投縣濁水溪北岸的雙龍地區，在一由十八重溪層中的一些薄層砂岩與薄層泥岩互層所構成的露頭上，展現有發育良好的劈理與褶皺共生的構造--在中型背斜構造的軸部與翼部，分別有對稱及非對稱的微褶皺構造；在微褶皺翼部則有劈理的發育。在中型背斜構造

的兩翼，劈理在穿過不同岩性時，劈理面會明顯產生偏斜；但這種現象在中型背斜構造的軸部則不明顯。

在分別透過本區粉砂岩層與泥岩層中劈理、層面的幾何關係分析與微構造現象的觀察和應變分析後，有下列的幾項結論：

1. 本區劈理的主要形成機制為壓溶作用，形成環境為在低溫環境 ( $<400$ )。
2. 本區劈理的形成時間，大約與微褶皺同時。
3. 微褶皺的形成早於中型背斜構造。
4. 微褶皺的形態，在初始形成時為對稱型。
5. 岩層主要為透過曲流作用的方式，來促使兩翼岩層傾斜，形成中型背斜構造、非對稱微褶皺、扇形排列的劈理。

本研究認為本區劈理與褶皺的形成過程如下 (圖 2)：

1. 由薄層粉砂岩層與薄層泥岩層所組成的水平岩層 (圖 2-1)，由於橫向縮短作用，而分別於泥質岩層與粉砂岩層中形成連續劈理與小型對稱微褶皺。而在微褶皺形成的同時，微褶皺岩層的翼部由於應力集中導致易溶物質 (石英、方解石、斜長石) 的壓溶並產生遷移，而殘留下的不易溶物質 (雲母類礦物、不透明泥質物質) 則相對旋轉、富集而形成與微褶皺包絡面的夾角約為 90 度的間距劈理 (間距範圍為 0.21-1.87 公分)。(圖 2-2)
2. 曲流作用的加強，促使微褶皺的形態、微褶皺包絡面以及劈理面的方向產生變化。於此同時，由於平行微褶皺包絡面的剪切量於不同部位會有所不同；且剪切量愈大，則對岩層包絡面所造成的相對傾斜角度會愈大 (圖 2-3)；因此，於此階段曲流作用的加強會促使組成岩層微褶皺包絡面產生相對的旋轉，而形成一較大規模的中型背斜構造；並在中型褶皺軸面的兩側岩層中形成呈扇形排列的劈理圖形。而另一方面，由於不同岩性的岩層各具有不同的力學性質，因此對於外力的抵抗能力以及所產生的變形程度會有所不同；因此會導致劈理面在由變形粉

砂岩層進入相鄰泥質岩層時，劈理面方向會產生偏斜，而形成劈理的折射現象。例如：在翼部傾角為 29 度時，劈理於粉砂岩層中與層面交一較高角度( 66 )；而劈理從粉砂岩層進入泥岩層時，與泥岩層交一較低角度( 54 )。

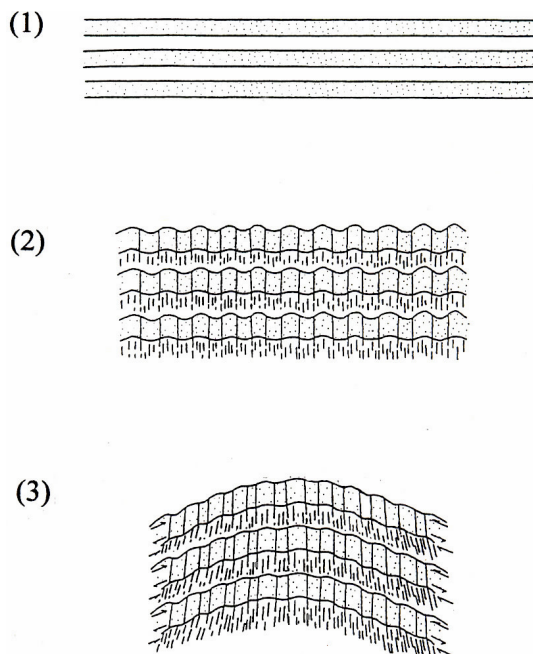


圖 2:本區劈理與褶皺在成因上的演化關係示意圖。由薄層粉砂岩層與薄層泥岩層所組成的水平岩層(1)，由於橫向縮短作用，而分別於泥質岩層與粉砂岩層中形成連續劈理與小型對稱微褶皺。在微褶皺岩層的翼部由於應力集中導致易溶物質的壓溶並產生遷移，而殘留下的不易溶物質則相對旋轉、富集而形成與微褶皺包絡面的夾角約為 90 度的間距劈理(2)。曲流作用的加強，促使微褶皺的形態、微褶皺包絡面以及劈理面的方向產生變化，並形成一較大規模的中型背斜構造；由於不同岩性的岩層各具有不同的力學性質，因此對於外力的抵抗能力以及所產生的變形程度會有所不同；因此會導致劈理面在由變形粉砂岩層進入相鄰泥質岩層時，劈理面方向會產生偏斜，而形成劈理的折射現象(3)。

在透過中尺度下劈理與層面的幾何關

係分析、微構造的觀察、以及福來法應變分析後，初步結果如下：

(一)微褶皺先行形成後，隨著褶皺緊度的增加，才伴隨產生劈理：泥質岩層與粉砂岩層中的連續劈理與小型對稱微褶皺，是由於岩層橫向縮短作用而形成。而在微褶皺形成過程中，微褶皺翼部的岩層由於應力集中導致易溶物質(石英、方解石、斜長石)的壓溶並產生遷移，而殘留下的不易溶物質(雲母類礦物、不透明泥質物質)則相對富集，而形成與微褶皺包絡面的夾角約為 90 度的間距劈理。

(二)微褶皺與劈理形成後，岩層的機械性質改變，形成以為褶皺包絡面為界面的層狀構造。當岩層繼續受到縮短作用時，此以包絡面為界面的層狀岩層透過曲流作用的方式以拱彎褶皺作用形成中型的背斜構造逐漸形成，微褶皺的形態以及劈理面也因此產生變化：於中型褶皺的翼部原先為對稱的微褶皺變形成為非對稱的微褶皺；於中型褶皺的軸部，原先為平行排列的微褶皺軸面則變形成為形成呈向下收斂的扇形排列。而另一方面，由於不同岩性的岩層，各具有不同的力學性質，對於外力的抵抗能力以及所產生的變形程度會有所不同；因此劈理面在由變形粉砂岩層進入相鄰泥質岩層時，劈理面會產生偏斜，而形成劈理的折射現象。

## 5. 討論

本研究採用的應變分析方法為福來法，分析的樣本則選取每一採樣標本中夾質域部位的粉砂岩層。鏡檢結果，在此夾質域中的石英顆粒並無壓溶作用所造成之顆粒被截切現象；因此，本研究所算出的有限應變，應未包含顆粒在經由壓溶作用時，體積流失下對顆粒所造成變形的應變。但是，是否這樣的有限應變結果，就可代表夾質域內粉砂岩層的有限應變情形？則須從福來法的原理與應用時的限制條件來作進一步的探討。

依據福來法應變分析的原理，是所要進行分析之顆粒聚合體中的每一顆粒外形必須為等粒狀，而且顆粒與顆粒的接觸方

式必須為顆粒支撐 (grain supported) 的方式。如果, 分析的顆粒外形並非等粒狀, 或顆粒與顆粒間的接觸方式為基質支撐 (matrix supported) 的方式, 則代表組成顆粒在抵抗外力時, 可能並非完全以顆粒邊界滑動 (grain boundary sliding) 的機械方式產生變形; 此時, 岩石的變形程度, 即無法表示在每一組成顆粒的相對位置上; 此時若直接以福來法進行有限應變分析, 則分析的結果可能沒有任何地質上的意義。

而在本研究內所進行應變分析的顆粒聚合體中的每一石英顆粒外形並非完全為等粒狀, 且顆粒與顆粒之間的接觸為基質 (細粒的雲母類礦物) 支撐的方式; 但是, 是否以標本之顆粒與顆粒的接觸方式, 就可以決定此岩石標本適合或不適合以福來法作應變分析? 或者說所分析的應變結果是有意義或無地質意義? 關於這個問題, 則須進一步從福來法的原理來作探討。

福來法的基礎原理, 為利用變形前原為均勻分布、大小相等的圓形, 而這些圓形有一共通點 即任兩個鄰近之圓形中心與中心的距離均相等; 而在經過均勻變形後, 兩鄰近圓形之中心與中心的距離會產生變化。而福來法就是利用這種任意兩個鄰近圓形之中心與中心距離, 在變形前、後所產生的變化, 所築構成的一種應變分析方法。

也就是說, 福來法應變分析的主要條件為 1. 在岩石變形前, 岩石內部組成中的任兩個鄰近石英顆粒的中心與中心距離須相等 (圖 7-1 中的 A、B 和 C); 且 2. 在經過均勻變形後, 鄰近之石英顆粒中心與中心的距離產生了變化 (圖 7-1 中的 D 和 E); 在符合上述條件, 時即可選用福來法作為此岩石應變分析的方法。

而在本研究中, 所觀察到之石英顆粒的相對位置, 為岩石在變形時, 內部組成中的認兩個鄰近之石英顆粒中心與中心距離產生變化後的結果; 因此, 在未能證明本研究所分析之岩石標本, 在變形前其內部組成中的石英顆粒中心的絕對位置為非均勻分布以前, 本研究的應變分析結果與

討論, 是具有其地質意義的。

為了要讓分析的結果更具說服力, 對於未來想進行福來法應變分析的工作者之建議, 則為所進行分析樣本的組成顆粒大小須為等粒狀、均勻分布, 且顆粒與顆粒間的接觸方式最好為顆粒支撐的方式, 例如石英岩即為最好的例子。

## 6. 計畫成果自評

本計畫的主要目的在於從現在所觀察到的褶皺劈理的幾何關係, 研究雪山山脈板岩帶組成岩層的材料在形成褶皺與劈理的過程中, 其變形機制在時間上與空間上相互之間的關係。

所以本研究的成果不但符合構造地質學方面的潮流性, 並由此了解本區岩石劈理發育與褶皺作用的相對時間與空間關係, 對於雪山山脈地質構造的了解以及台灣地質演變史的推論提供實質的基礎。

## 7. 參考文獻

王源 楊昭男 (1979) 關於大南澳片岩多次變質及變形作用的一些證據。地質, 第二卷, 第 41-45 頁。

李春生 (1979) 台灣中部南麓山地區之古第三紀地層。中國地質學專刊, 第 3 號, 第 237-247 頁。

宋國城 (1983) 台灣輕微變質岩的鉛筆構造。地質, 第四卷, 第二期, 第 37-44 頁。

李元希 (1989) 台灣中央山脈大禹嶺地區地質構造的演化。國立台灣大學地質學研究所碩士論文, 共 126 頁。

林啟文、楊昭男 (1991) 簡介褶皺形成的理論。地質, 第十一卷, 第一期, 第 47-65 頁。

林偉雄、林啟文和游明聖 (1995) 中央山脈南段鹿野溪地區之地質構造研究。經濟部中央地質調查所, 共 24 頁。

陳維民、楊昭男 (1985) 花蓮銅門地區大南澳片岩之地質構造。地質, 第六卷, 第二期, 第 1-20 頁。

陳肇夏、王京維、鐘三雄 (1994) 鉀雲母結晶度在台灣雪山及中央山脈地層與構造研究上之應用。經濟部中央地質調查所



- 特刊, 第八號, 第 261-284 頁。
- 陳肇夏、王京新 (1995) 台灣變質相圖說明。經濟部中央地質調查所特刊, 第二號, 第 1-51 頁。
- 楊昭男 (1977) 由小看大-簡介中視構造的重要性。演化, 第五期, 第 29-32 頁。
- 楊昭男 (1986) 台灣中央山脈大南澳片岩及其上覆地層的劈理型態。地質, 第七卷, 第二期, 第 1-10 頁。
- 楊昭男、羅偉 (1986) 中央山脈大禹嶺地區之地質構造。地質, 第七卷, 第二期, 第 11-33 頁。
- 劉桓吉 (1991) 台灣雪山山脈濁水溪地區地質構造之研究。國立台灣大學地質學研究所碩士論文, 共 67 頁。
- 劉桓吉、楊昭男 (1992) 台灣雪山山脈濁水溪地區之地質。中央地質調查所彙刊, 第 8 號, 第 31-62 頁。
- 羅偉 (1985) 台灣中央山脈大禹嶺地區之構造地質研究。台灣大學地質學研究所碩士論文, 共 67 頁。
- 羅偉 (1992) 台灣中央山脈合歡山至天祥地區之地層與構造研究。國立台灣大學地質學研究所博士論文, 共 273 頁。
- 羅偉、林偉雄 (1993) 台灣中央山脈岩石劈理之生成機制及其在地質圖測製上的應用。經濟部中央地質調查所, 共 93 頁。
- 鐘嘉猷 (1998) 實驗構造地質學及其應用。北京科學出版社, 共 246 頁。
- Beach, A. (1977) Vein arrays, hydraulic fractures and pressure solution structures in a deformed flysch sequence, S. W. England: *Tectonophysics*, 40, 201-225.
- Boulter, C. A. (1979) On the production of two inclined cleavages during a single folding event; Stirling Range, S. W. Australia: *J. Struct. Geol.* 1, 207-219.
- Cosgrove, J. H. (1976) The formation of crenulation cleavage: *J. Geol. Soc. Lond.*, 132, 155-178.
- Dieterich, J. H. (1969) Origin of cleavage in folded rocks: *Am. J. Sci.* 267, 156-165.
- Dieterich, J. H and Carter, N. L. (1969) Stress history of folding: *Am. J. Sci.* 267, 129-154.
- Dunne, W. M and Onash, C. M. and Williams, R. T. (1990) The problems of strain-marker centres and the Fry method: *J. Struct. Geol.*, 8, 933-938.
- Elliott, D. W. (1973) Diffusion flow laws in metamorphic rocks: *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84, 2645-2664.
- Fry, N. (1979) Random point distributions and strain measurement in rock: *Tectonophysics*, 60, 89-105.
- Geiser, P. A. (1974) Cleavage in some sedimentary rocks of the Central Valley and Ridge Province, Maryland: *Bull. Geol. Soc. Am.*, 85, 1399-1412.
- Gray, D. R. (1979) Microstructure of crenulation cleavage: an indicator of cleavage origin: *Am. J. Sci.*, 279, 97-128.
- Gray, D. R. (1981) Cleavage-fold relationships and their implications for transected folds; an example from southeast Virginia, U.S.A : *J. Struct. Geol.*, 3, 265-277.
- Groshong, R.H. (1975) Slip cleavage caused by pressure solution in a buckle fold: *Geology*, 3, 411-423.
- Hills, E.S. (1966) *Elements of structural Geology* : Chapman & Hall. London, 483p.
- Hudleston, P. J and Holst, T. B. (1984) Strain analysis and fold shape in a limestone layer and implications for layer rheology : *Tectonophysics*, 106, 321-347.
- Kimura, T. (1973) Relations between the Minor structures of the Tananao schist and Slate Formation in the Central Range of Taiwan: *Geol. Palaeont. Southeast Asia*, 11, 137-160.
- Means, W. H. (1975) Natural and experimental microstructures in deformed micaceous sandstones: *Bull. Geol. Soc. Am.*, 86, 1221-1229.
- Mutra, S. (1978) Microscopic deformation mechanisms and flow laws in quartzites within the South Mountain anticline: *J. Geol.*, 86, 129-152.
- Onasch, C.M. (1990) Microstructures and their role in deformation of a quartz arenite from the central Appalachian foreland: *J. Struct. Geol.*, 12, 883-894.
- Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J. (1998) *Microtectonics* : Springer . 289p.

- Phillips, J. (1843) On certain movements in the parts of stratified rocks: British Assoc. Advancement Sci., Rept., 60-61.
- Powell, C. M. (1974) Timing of slaty cleavage during folding of Precambrian rocks, Northwest Tasmania: Bull. Geo. Soc. Am., 85, 1043-1060.
- Powell, C. M. (1979) A Morphological classification of rock cleavage: Tectonophysics, 58, 21-34.
- Price, N. J. and Cosgrove, J. W. (1990) Analysis of Geological Structures: Cambridge University . 502p.
- Ramsay, J. G. (1967) Folding and Fracturing of Rocks: McGraw-Hill, New York.
- Ramsay, J. G. and Huber, M. (1983) The Techniques of Modern Structural Geology, volume 1, 2 : Academic, 700p.
- Sharpe, D. (1847) On slaty cleavage : Geol. Soc. London Quart. Jour., 3, 74-105.
- Sharpe, D. (1849) On slaty cleavage: Geol. Soc. London Quart. Jour., 5, 111-129.
- Wang, Y. (1979) Some structural characteristic of the Tertiary basement on Taiwan: Mem. Geol. Soc. China, 3, 139-145.
- Williams, P. F. (1976) Foliation: A review and discussion: Tectonophysics, 39, 305-327.
- Wood, D. S. (1974) Current views of the development of slaty cleavage: Rev. Earth Planet. Sci., 2, 369-401.
- Yang, X. and Gray, D. R. (1994) Strain, cleavage and microstructure variation in sandstone: implications for stiff layer behavior chevron folding: J. Struct. Geol., 16, 1353-1365.