

走過四重溪

高中組地球科學科第二名

高雄市立左營高中

作者：黃正吉、曾耀陵

指導教師：林明良、翁榮安

一、研究動機

從地科課本裡，我們知道了岩層會產生褶皺，是因岩層受應力作用後產生不均一的應變造成的。而褶皺所造成岩層層理的形狀，通常有開放性的褶皺與封閉性的褶皺。我們經常看到開放性的褶皺，就從沒有看過封閉性的褶皺。

民國 73 年 7 月號的科學眼雜誌上，刊登了一張 C 字形的偃臥褶皺露頭的照片，據老師說：此褶皺位於四重溪畔。在好奇心的驅使下，來到了四重溪，涉水到達露頭，（以下簡稱四重溪露頭），其景觀只能用鬼斧神工形容，當我們爬到露頭中心處，結果發現並非 C 字形，而是一個封閉性長橢圓形的褶皺。為何會產生這種褶皺的疑惑湧上心頭，所以請老師指導，作實地的研究與測量，並且回到學校實驗室嘗試以黏土、石膏作模擬，探討成因；同時也懷疑四重溪其他地區是否也有類似的褶皺露頭，所以我們另找了兩處露頭作勘測，一位於 199 號公路旁軍營附近（以下簡稱軍營露頭），另一位於石門古戰場紀念碑東邊（以下簡稱石門露頭）。

二、研究目的

- (一) 探討四重溪露頭長橢圓形褶皺的成因。
- (二) 尋找其它類似褶皺露頭。
- (三) 測量岩層節理的走向及傾角，尋找三個露頭岩層受力的一致性，以推測古大陸斜坡可能之傾斜方向。

三、研究過程

(一)實地勘測：

1.四重溪褶皺露頭部份：

- (1)其形狀爲一褶皺層理非常明顯的長橢圓，但在中間卻出現了兩個左右不對稱的小橢圓，爲了方便將它稱A（左），B（右）小橢圓。A小橢圓的中心可以說是大長橢圓的中心，爲半橄欖球面突出的頁岩，B小橢圓的中心亦爲頁岩，已風化。
- (2)褶脊左側的層理相當明顯，右側則較不明顯，甚至最外幾層在右側不見有回頭，而形成一C字形，這個現象，可能是右側受侵蝕較少，未完全出露，或已出露，但又被已風化的泥砂掩蓋。
- (3)褶皺的砂岩厚度愈往中心處愈厚，愈往上或往下砂岩愈薄，而頁岩愈厚，且同一岩層厚度均相同。
- (4)各岩層均有明顯節理，岩塊大部呈矩形，在左側彎曲處有數層大片無節理的砂岩。
- (5)在中心下方岩層中發現許多被褶成彎曲如M型或C型或複雜褶曲的大砂岩且幾乎在同一高度，表示這些岩塊受力之時仍具高度可塑性。
- (6)在中心處的右上半部採集到一片有“漣痕”的砂岩，其凹入的尖端指向褶皺中心。
- (7)全區層理分顯，節理甚多，但因陡峭，測量困難，只好採樣測量岩層，節理的走向及傾角，其數據及 ρ_i 圖如表一。

2.軍營露頭部份：分A、B、C、D四個部份。

- (1)A部份的層理尚清楚，其層理以觀測者視之向左方傾斜。砂岩厚度 20 cm，頁岩厚度 50 cm，此與四重溪露頭左方不遠之傾斜岩層相若。
- (2)B部份因受破壞層理不明顯且很亂。
- (3)C部份層理明顯，向右傾斜，砂頁岩厚薄變化與A部份類似。

(4)D 部份是在公路下方的河床，是 C 部份往下延伸，是砂頁岩互層，此處尚出現數處局部微小岩層斷層。

(5)以上四部份的岩層，節理走向及傾角數據及 ρ_i 圖如表二。

3. 石門露頭部份：

(1)分左下右上兩邊，左下邊為較薄砂頁岩互層，甚少節理，表示為較年輕岩層。右上邊岩層結構複雜，風化程度也較大，且右上方岩層是部份覆蓋在左下方的岩層之上，且左下右上兩邊岩層結構不同。

(2)其岩層及節理走向，傾角數據及 ρ_i 圖如表三。

(二) 模擬與推論：

綜合以上所勘測的結果，並以黏土、石膏模擬其成因。

1. 褶皺是如何形成？

當岩層受外來力量作用時，即可能產生形變。我們以石膏作成長方形薄片模擬岩層，並以老虎夾由兩側施力，模擬岩層持續受水平力作用之情形。石膏和水以 1 : 1 比例混合，灌入模內，作成紅白兩色薄片，每隔 15 分鐘各取出兩片疊合作受力實驗，（石膏的可塑性隨凝固時間增加而降低）。觀測得下述結果：

(1)若岩層具可塑性，受力作用時，較易產生褶皺現象，且可塑性愈大的岩層愈不易產生節理。

(2)可塑性的岩層若持續受力，或外力過大時，則岩體可能產生斷裂形成節理。

(3)不可塑性的岩層若受力作用，則易斷裂形成節理。

(4)岩層受力形成節理時，兩節理所夾較小夾角的分角線，即為受力方向。

(5)當岩層形成褶皺時，在其褶脊處通常會變厚。

2. 四重溪露頭的長橢圓形層理如何形成？

(1)本褶皺內層為較年輕岩層，理由是：

(a)由以上模擬分析，可知褶皺形成時，岩層若為可塑狀態，則可能出現彎曲但無節理之岩層。本褶皺在靠近中心處下

方出現許多M型，C型……之岩層，左側彎曲處亦有數片無節理之岩層，表示其為具有相當可塑性的軟沉積岩層。此軟岩層應為較年輕岩層。其下方岩層均以節理調適所受之應力，應為凝固時間較長而較硬的年老岩層，由此推測中心下方之岩層愈往上愈年輕。

(b)根據在中心右上方所採到的岩石標本，上面有“鏈痕”記號，其凹入尖端指向中心，表示中心上方岩層愈往下愈年輕。

(c)由上述分析，褶皺中心應為年輕岩層。

(2)如何才能形成長橢圓形層理？

我們以黏土作成長方形薄片來模擬，發現若黏土四面受力，則中心會突起形成穹丘。若黏土中央未受支撐，或受下壓力，則中心會凹下形成盆地。此兩種情況均會產生圓形褶皺層理。

以一般平坦砂頁岩互層沉積來說，愈往下是愈老的岩層，年輕岩層必在上層。所以：

(a)若是形成穹丘，則其年輕岩層必在同心圓的外層，內層為年老岩層，此項與本褶皺中心為年輕岩層不符，所以本褶皺不是由穹丘形成。

(b)若是形成盆地，則其年輕岩層是在內層，此項與本褶皺類似。但是砂頁岩互層沉積層，下層是具剛性的老岩層，其固結程度較佳，要產生下漏盆地須上層要有極大的壓力，若下層的老岩層仍具可塑性，則下漏盆地是有可能的。然而本褶皺為長橢圓形，應為兩對大小相差極大的應力所產生，橢圓長軸方向受力較小，短軸方向則較大。在我們的模擬實驗中，下壓力所產生的盆地較接近圓形，而不易產生如此扁長的橢圓，所以本褶皺由盆地造成的可能性較小。

(c)若褶皺內層為年輕岩層，尚有一可能，即是平坦的原始沉積岩層倒轉的作用。

但要使岩層倒轉，須極大力量才可，此一力量又從何而來？根據地質學家表示，墾丁層乃為傾瀉層或稱混同層，位歐亞大陸板塊之上，呈北北東方向延伸，據此，墾丁層可能沿古大陸斜坡傾瀉滑落而沉積，因此本褶皺的原始沉積層，可能以同樣方式滑落，如此才有足夠的力量倒轉。

(d)岩層沿斜面下滑造成的褶皺方式有三：（註三）

若是以 A 方式下滑造成的褶皺，其內層同時具有年輕年老的岩層，此項與本褶皺不符。

若是以 C 方式下滑造成的褶皺，其內層應全是年老岩層，也與本褶皺不符。

若以 B 方式下滑造成的偃臥褶皺，則其內層為年輕岩層，所以本褶皺應是以此 B 方式下滑造成的。

(e)但是長橢圓層理又是如何形成的？

當一岩層沿斜面下滑而倒轉形成一個偃臥褶皺時，能夠形成上下對稱長橢圓形層理的一個可能，就是在其褶脊處侵蝕。

設岩層以 B 方式下滑造成褶皺時，內層可塑性的岩層可受到六個方向的應力，上下方的應力遠大於其餘四方的應力，迫使內層具可塑性的岩體沿褶脊軸面向四方突出，這點可由本褶皺的中心為一半橄欖球面突出的頁岩來說明。因上下岩層應力較大，且倒轉時上層的重擊，而兩旁只是限制力，因而形成橢圓。

我們以不同顏色的黏土數片互疊，然後彎成 C 字形，兩旁以木板限制，再由上向下施力重壓後，以小刀切除部份褶脊結果出現長橢圓形層理。

本褶皺左側似乎是褶脊，但其岩層並無增厚之現象，與 1. - (5) 之觀察結果不合，我們認為其並非真正之褶脊，真正之褶脊可能在現今露頭的正面部份，但已被侵蝕。

到此，我們大致可說：本褶皺是岩層沿斜面下滑時倒轉然後在褶脊處經侵蝕形成今天的長橢圓形層理。但是這個斜

面的傾斜方向（下滑方向）又是向何方？

(3) 斜面傾斜方向（岩石受力方向）

(a) 一個岩層的節理通常是受力作用時產生的，只要測量各岩層節理走向及傾角，並作統計分析，大致可推得岩層的受力方向。

(b) 當一岩層由斜面下滑時，其主要的力有三：重力，正向力及阻力，重力與正向力之合力即為沿斜面的下滑力，下滑力及阻力方向相反且均平行於斜面，此二力即是造成岩層節理的主力，因此岩層受力的方向，即是斜面傾斜方向。

(c) 我們將在本褶皺所測得的節理走向及傾角數據送入電腦分析，由 π 圖可看出其受力方向為東北西南方向。

(d) 為了慎重，我們再以黏土來模擬，推論岩層下滑時倒轉的方向，由模型可知：

在平面座標的四個象限中，只有從第 I 象限向第 III 象限方向倒轉時，才能在褶脊處侵蝕出一個與目前本露頭出露面方向一致的長橢圓形層理。

若在其它象限內的倒轉，要得到一個與本露頭出露面方向一致的長橢圓，實不可能。而且下滑倒轉的方向，愈近東北西南方向，愈容易形成與目前本露頭出露面方向一致的長橢圓層理。

所以由以上幾項推論可知：“當初岩層下滑的方向應是東北向西南方向”。然而這個方向是否就是古大陸斜坡方向呢？

由三處露頭的岩層 π 圖看來，三者岩層的走向大約一致為西北東南方向，又同為墾丁層，所以三者可能均由古大陸斜坡滑下。

(e) 因此我們再看軍營露頭及石門露頭之節理走向及傾角，尋求三者受力方向是否有一致。

3. 軍營露頭：

(1) 本露頭出露之層理整體而言凌亂不一，但從現地測得之岩層

走向分析，A、B、C、D四部份的岩層走向均分佈在西北東南向，所以我們懷疑它們可能同是一個大褶皺。

(a)在本露頭A、B交界處，我們亦發現有一處《字形的層理，其彎曲處沒有增厚現象且節理很多，甚至有斷裂或∟字形，此與四重溪露頭中心的年輕軟沉積岩層不同，其岩層結構又與四重溪露頭左方不遠的年老岩層相若，所以我們認為它可能屬於年老岩層。

(b)A、C部份的岩層結構類似，所以我們認為它是偃臥的背斜褶皺。

(c)《字形層理又如何形成？

沿斜面下滑的三種方式均可能形成《字形層理，若以A、B二種下滑方式產生的褶皺，其內層均有年輕岩層，同時層理也比較一致。若以C方式下滑產生的褶皺，其內層則為年老岩層，層理亦可能較不一致，本露頭較可能是以C項方式下滑形成。

(d)我們以模型來模擬。從模擬的模型可看出，其出露面橫切過褶脊。

(2)由岩層節理的走向及傾角數據，經由 ρ_i 圖分析結果其受力方向為東北西南方向。

4. 石門露頭

(1)本露頭是由兩種不同結構的岩層疊成。

(a)從現地的觀察，左下方岩層為很薄砂頁岩互層，（約4cm），甚少節理。右上方岩層結構為較厚砂頁岩互層間夾有少數泥岩，節理甚多，由此我們認為左下方為仍在可塑狀態的年輕岩層，而右上方為年老岩層。

(b)以A方式下滑較有可能形成如此左下右上截然不同的層理。

(c)其形成方式以模型模擬。

(2)岩層節理的數據經由 ρ_i 圖分析結果，其受力方向亦為東北西南方向。

5.綜合以上分析，三處露頭岩層走向均為西北方向，但是根據地

史所知，臺灣受歐亞大陸板塊與菲律賓大陸板塊碰撞作用造成臺灣東部抬起，那麼四重溪地區岩層是否會因東部抬起作用而使岩層走向改變？

我們以厚紙板作成模擬模型來推本地區岩層是否會因東部抬起而使岩層走向改變。結果發現其走向改變的角度不大。

所以目前本地區岩層走向應為當初下滑時的走向，不因東部的抬高而改變。

註1：詹新甫教授命名。

註2：裴其教授及詹新甫教授主張。

註3：取自“構造地質學，作者：Marland p. Billings.”

註4：“恆春半島四重溪畔橫臥褶皺露頭探究”(73學年教育部全國中小學科學教師著作)，一文認為：四重溪褶皺為一同心圓；而我們勘測的結果是：大橢圓包著兩個小橢圓，這可能是勘測時間不同，出露程度不同。

評 語

本研究之重點在於探討四重溪褶皺之成因，此外並測量岩層節理的走向及傾角推論岩層受力狀況，此外亦在室內模擬褶皺之形成，以及因山崩而形成之斷塊丘。

本研究富於鄉土性，作者曾實地考察四重溪之地質概況，參考文獻尚豐富，作者並使用電腦作業亦為特點之一。