

大南澳片岩的構造演化歷史

The Structural Evolution History in the Tananao Complex

何恭睿 Gong-ruei Ho

國立中央大學地球科學學系博士後研究 Post-Doctoral Fellow Of NCU

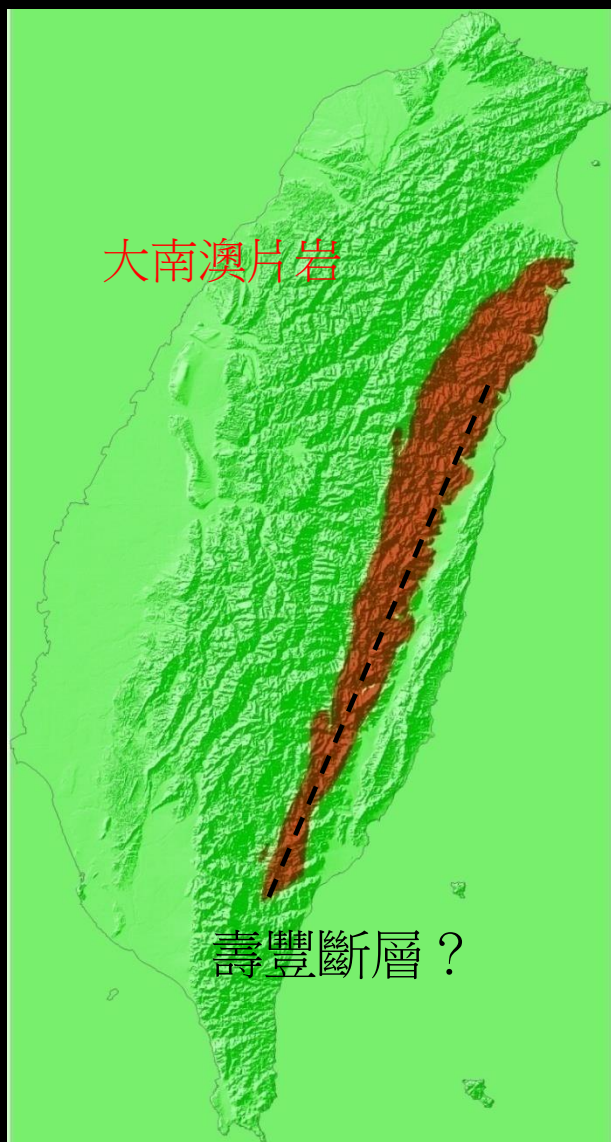
- 一、前人研究
- 二、大南澳片岩的地質構造特性-構造對比
- 三、大南澳片岩的地質構造特性-移位循環
- 四、大南澳片岩的地質構造特性-再褶皺分析
- 五、萬榮、和平與南橫地區的地質構造分析結果
- 六、大南澳片岩的構造對比
- 七、結論



Domian-I, Domian-II, Domian-III-> 領域一，領域二，領域三
S1, S2, S3-> 第一期，第二期，第三期葉理面
F1, F2, F3-> 第一期，第二期，第三期褶皺構造
D1, D2, D3-> 第一期，第二期，第三期岩石變形

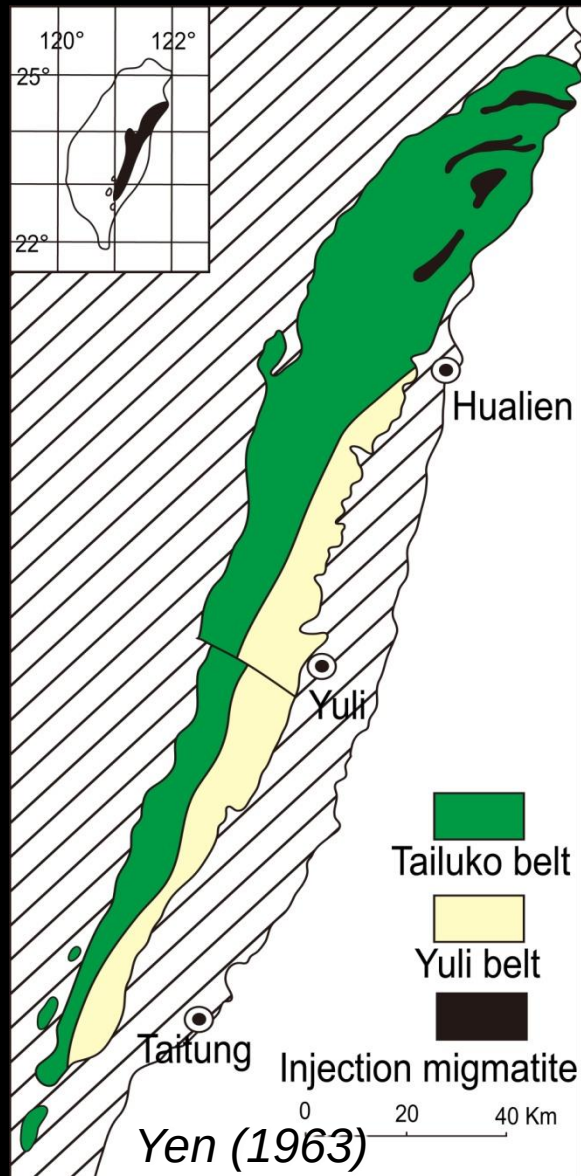


一、前人研究



- 大南澳片岩的形成
 - 島弧隱沒的增積岩體 (Yen, 1963; Ernst and Harnish, 1983; Yui et al., 2009; Suppe, 1981)
 - 厚皮理論的板塊碰撞(Wu et al., 1997)
 - 大陸板塊俯衝擠壓後有部分的板塊掉落 (Chemenda et al., 1997; 2001)
 - 剪切構造為主的混同層(Hsu, 1988; Wang-lee and Wang, 1987)
- 地球物理方面：
 - 郭陳濤與吳大銘 (Kuo et al., 2013) 等
- 定年研究方面：
 - 俞震甫、藍晶瑩、陳文山、李元希等 (Lan et al., 2008; Yui et al., 2009; 2012) 等
- 大地構造部份：
 - 嘉面達(Chemenda et al., 2001)；瑪拉耶等人(Malavielle et al., 2002)等

成雙變質帶與壽豐斷層

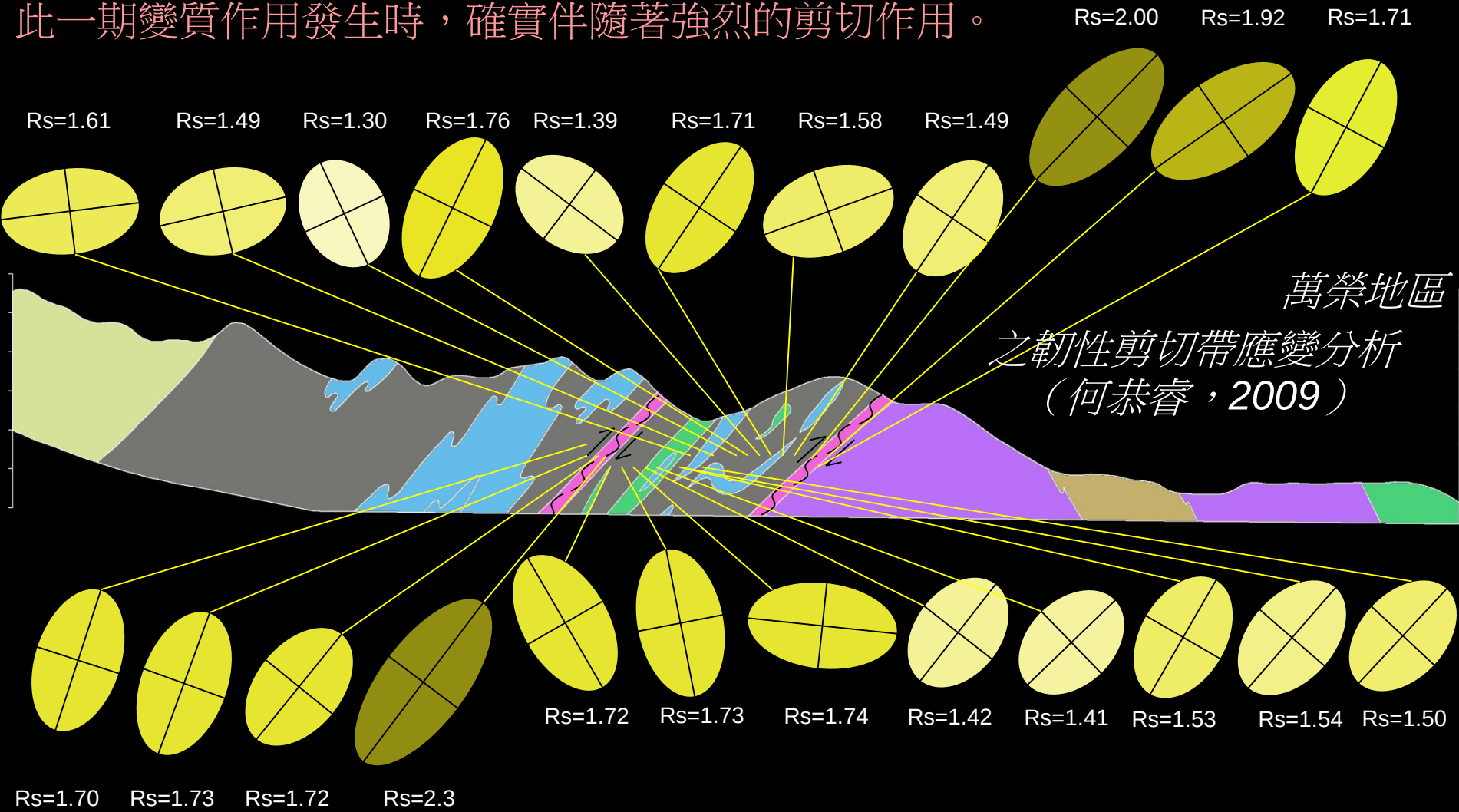


- 顏滄波於1963年提出，主要延伸都城秋穗(Miyashiro, 1961)年日本造山帶的想法，顏滄波進一步討論岩石種類、變質度及礦物組成等，初步將大南澳片岩區分為兩個相異的變質帶，西半部的**太魯閣帶**以黑色片岩、綠色片岩、大理岩和片麻岩為主；東半部的**玉里帶**則以黑色片岩及綠色片岩為主。
- 接下來展開了一連串針對成雙變質帶的相關研究，關於變質環境的有：(陳維民，1985；沈正嘉，1995；Beyssac et al., 2007；William, 2014) 與構造對比有關的有：(Stanley et al., 1981；何恭睿，2007)均有對此變質帶或壽豐斷層有所討論。

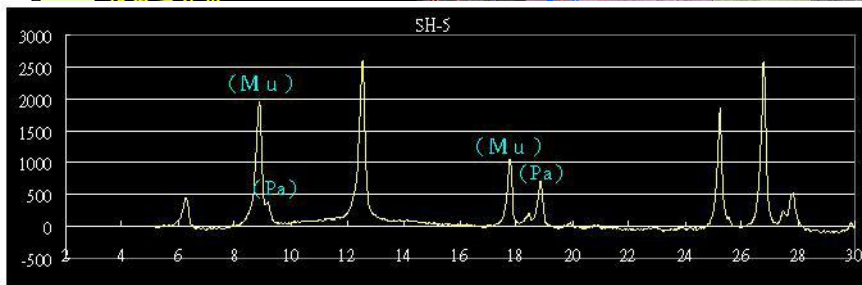
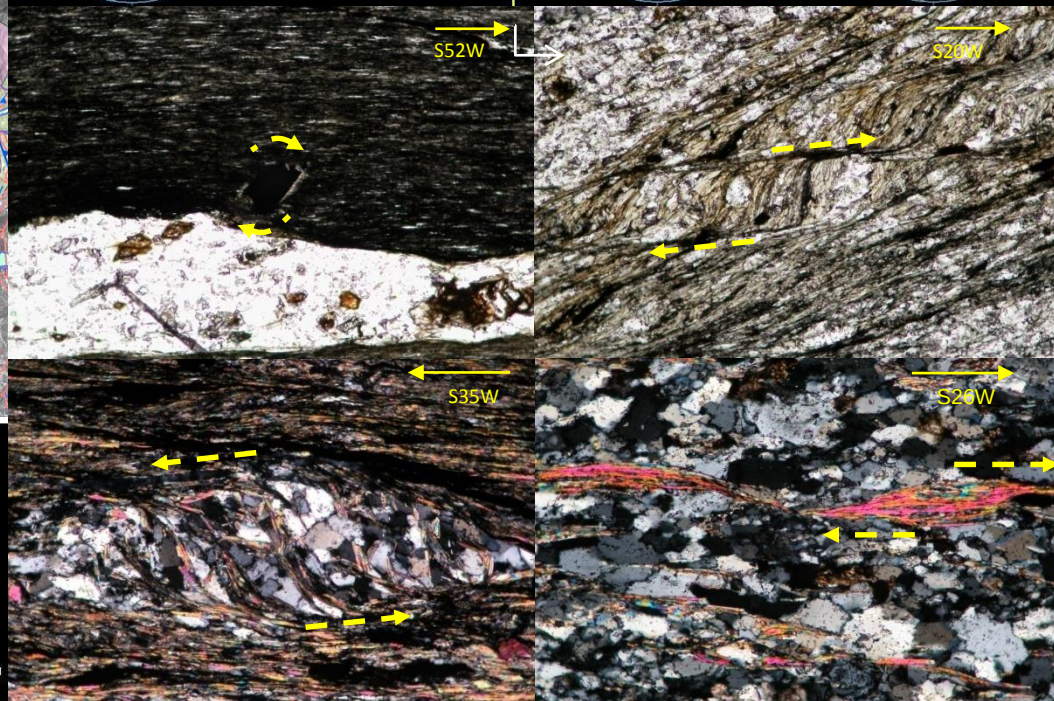
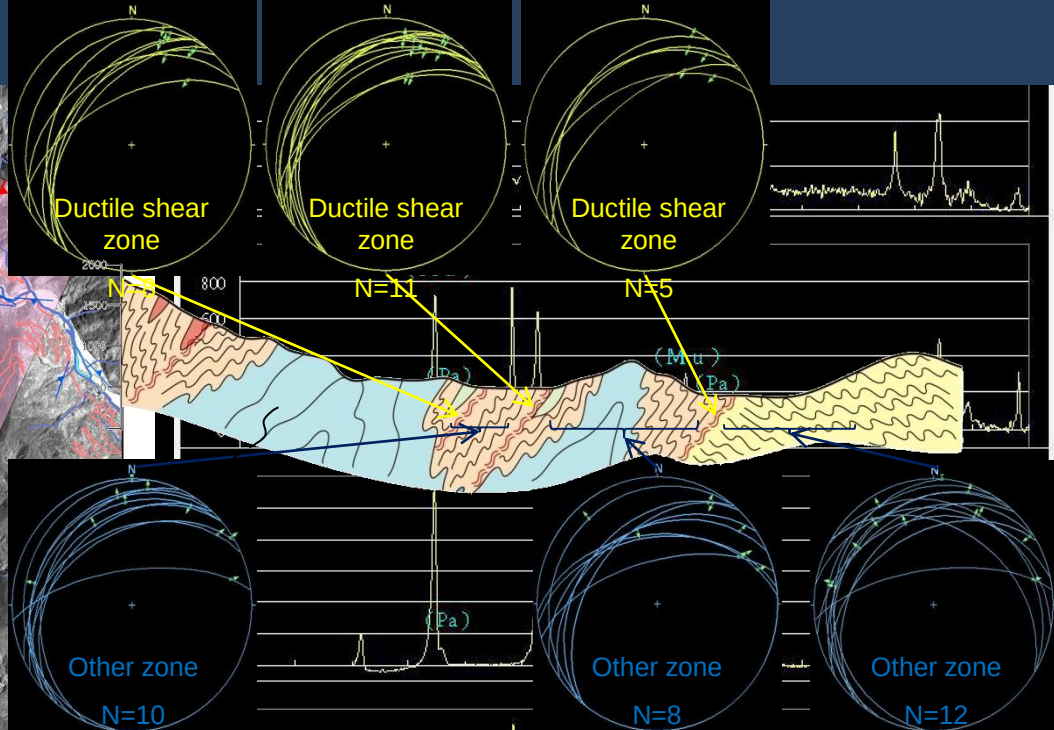
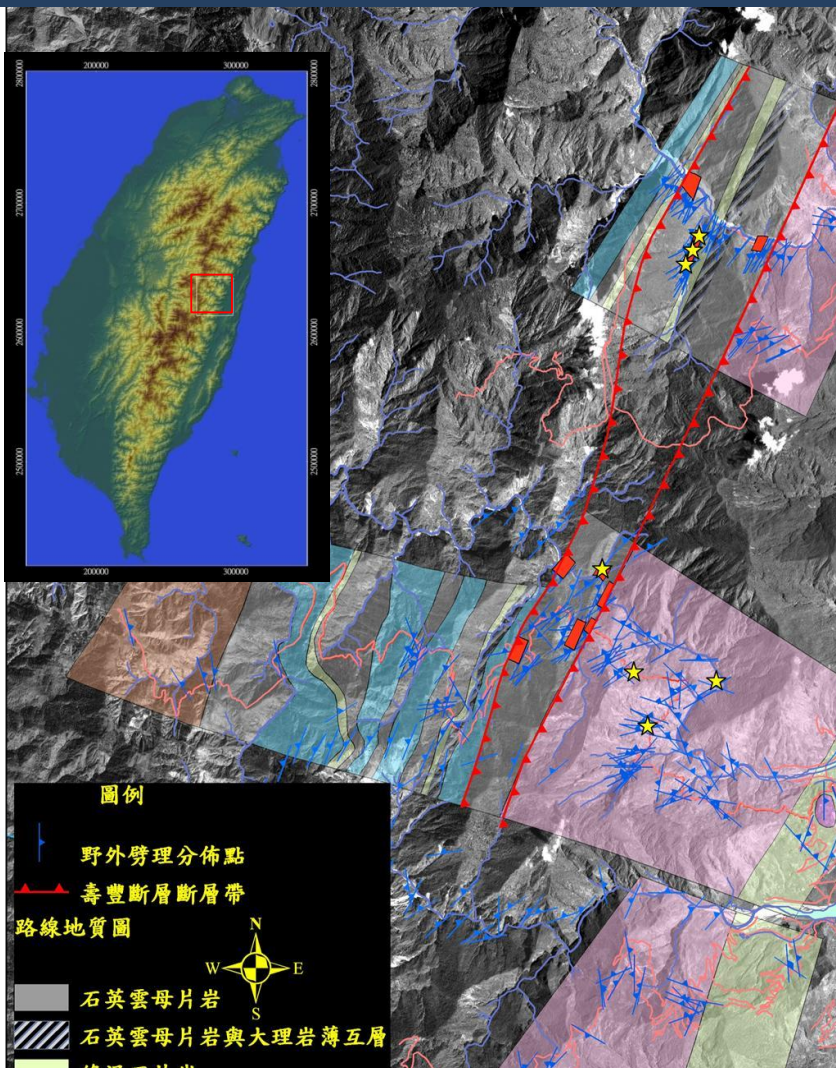
壽豐斷層的特性

大南澳變質岩區中存在著許多**韌性剪切帶**（Stanley et al., 1981；陳維民，1985；何恭睿，2007；）有的分布較廣的韌性剪切帶甚至可成為一個區域地質構造（清水嶺剪切帶與望溪剪切帶，衣德成等，2012）

而這些韌性剪切帶皆平行區域中某一組的葉理面，經構造比對為**S2葉理面**，顯示此一期變質作用發生時，確實伴隨著強烈的剪切作用。



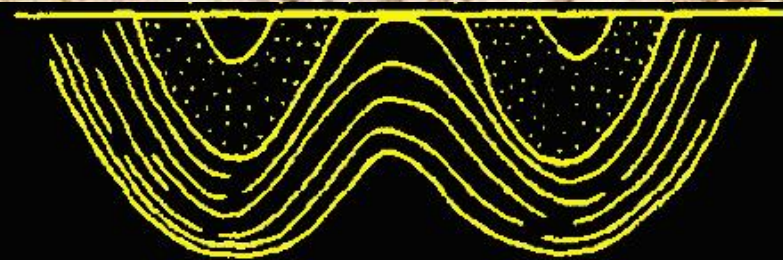
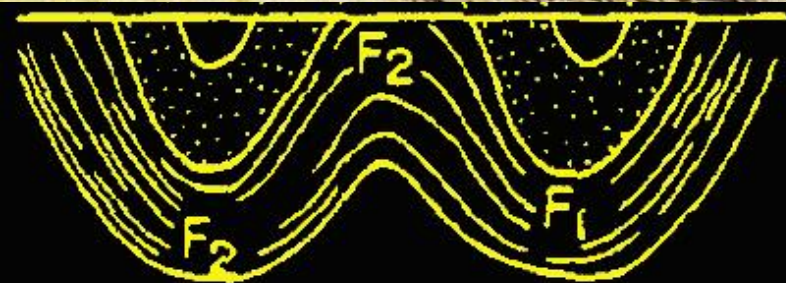
Analysis of the boundary...

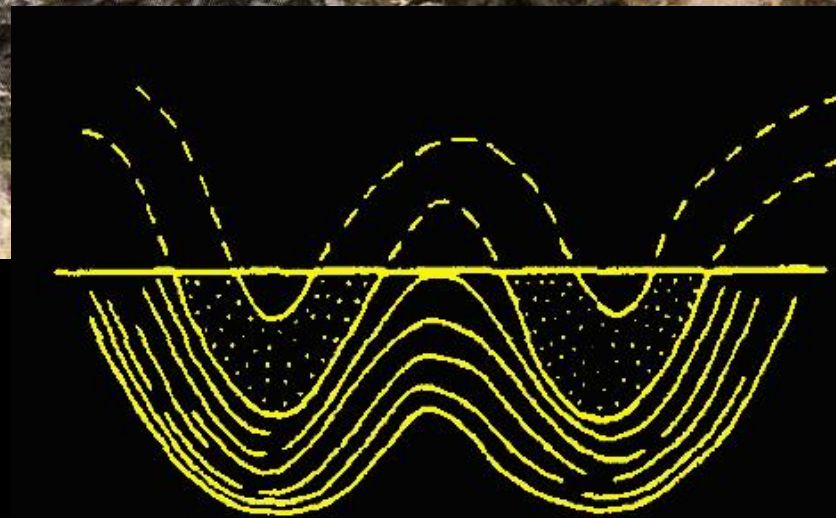
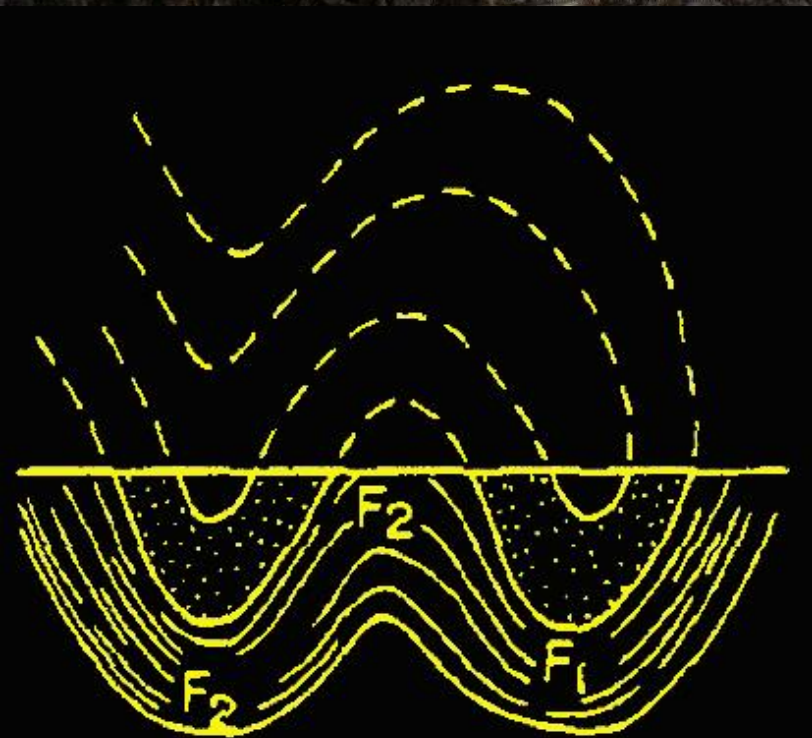
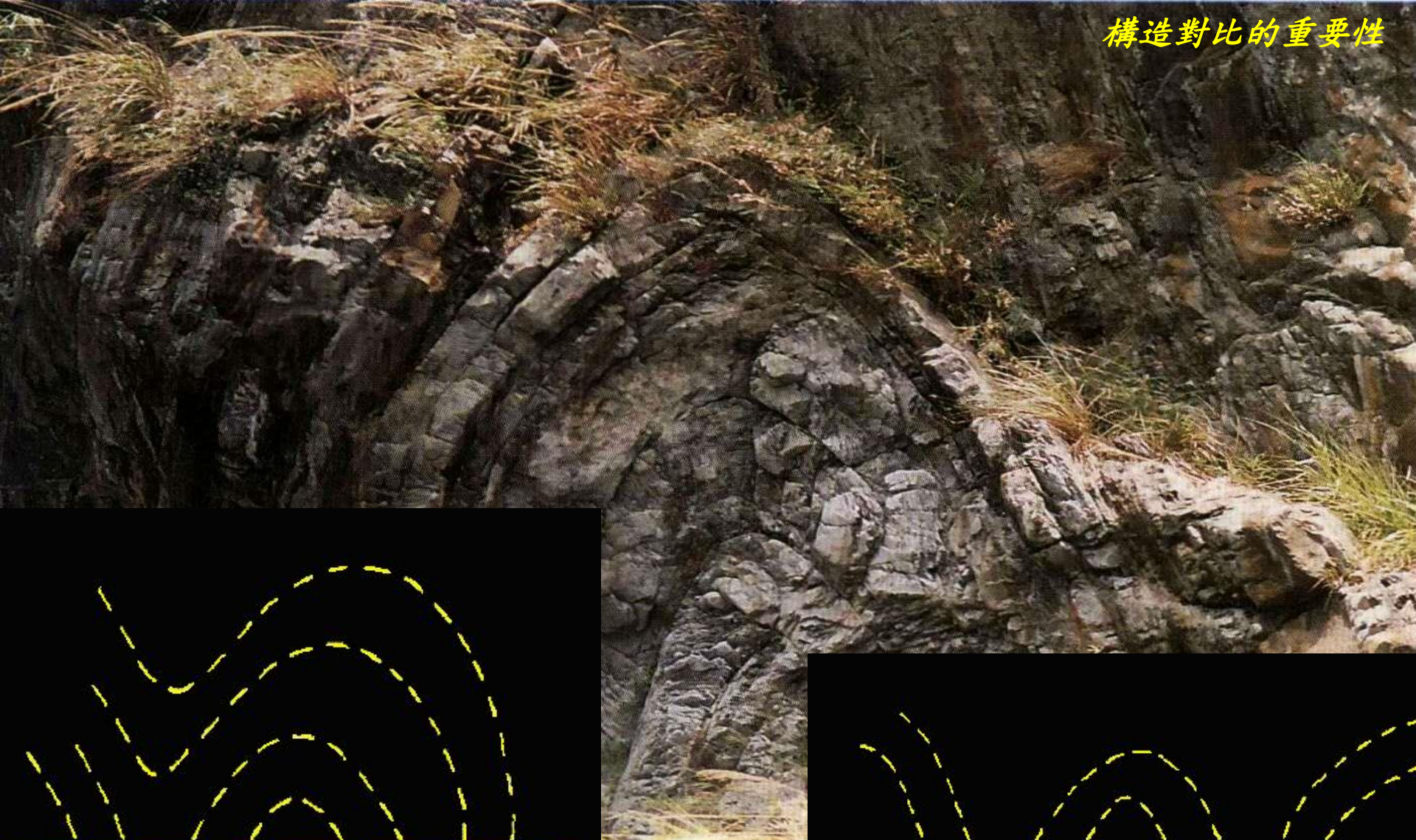


二、大南澳片岩的地質構造特性-構造對比

- 多次變形的區域，其線理、葉理及各期的褶皺並不規則，對地質圖的測製將造成極大的困擾。
- → 透過**構造對比與領域分析**，構造均質性存在於局部的小範圍內，在此範圍內褶皺軸或褶皺軸面的位態保持一致，或呈系統性的變化。



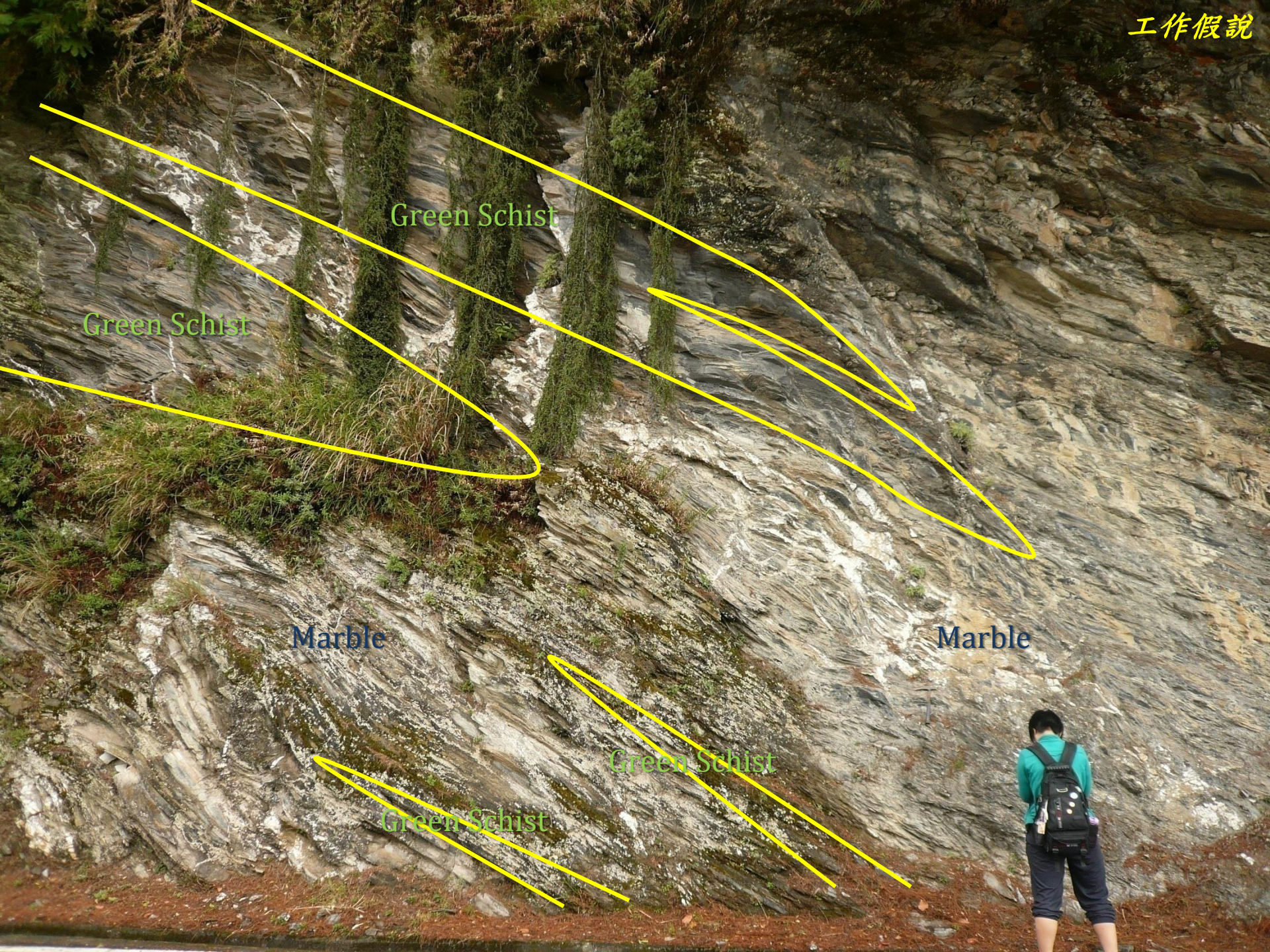




工作假說/Working Hypothesis

- A *suggested explanation* of a group of facts or phenomena provisionally accepted as a basis for further investigation and testing.
- *Working Hypothesis* in geology begins with a tentative answer, the hypothesis, and seeks out facts to try *against it*.
- *In real life, this kind of process is valid only for problems like solving a crossword puzzle or jigsaw puzzle. In real science, where much is unknown—certainly in geology—this method gets you nowhere.*

•



Green Schist

Green Schist

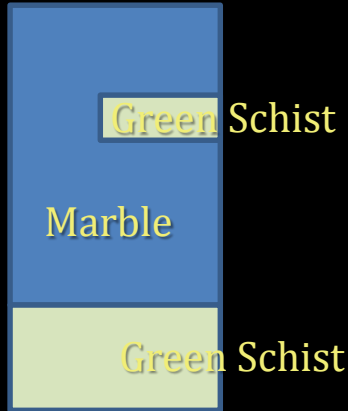
Marble

Marble

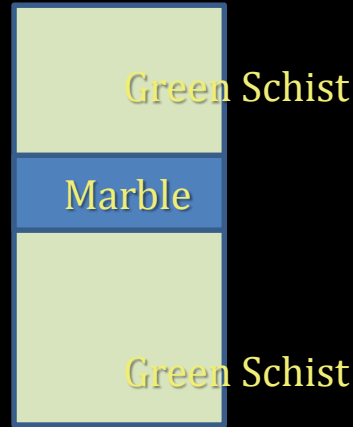
Green Schist

Green Schist

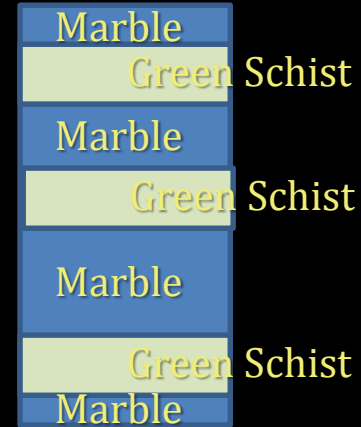
(1)



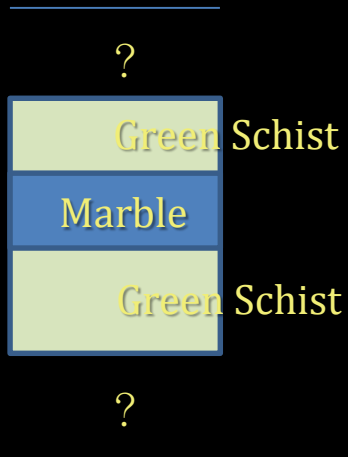
(2)



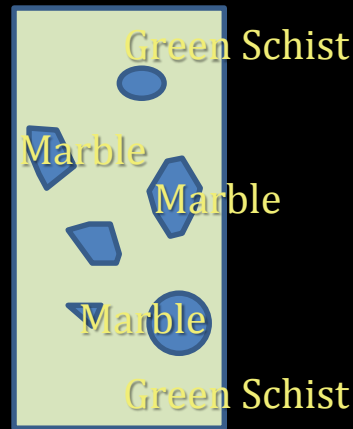
(3)



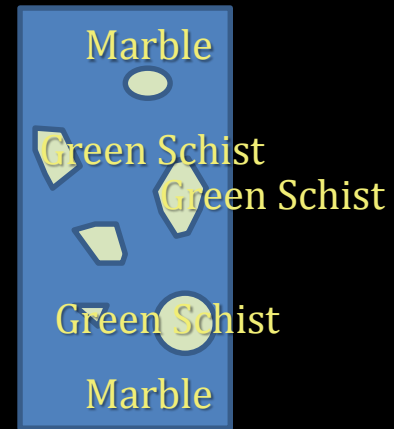
(4)

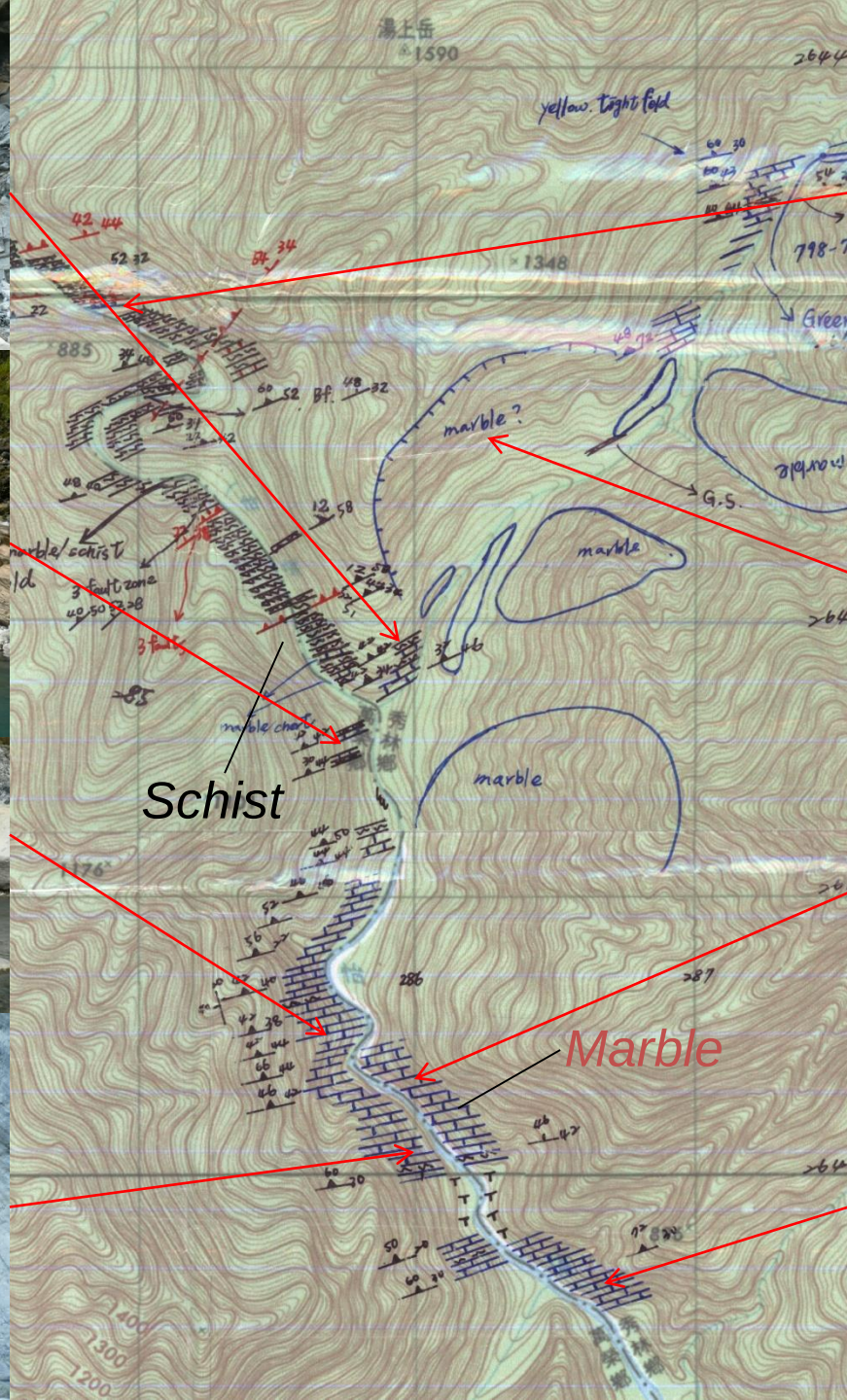


(5)

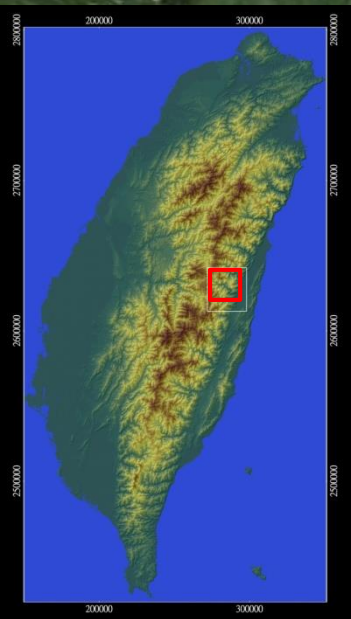
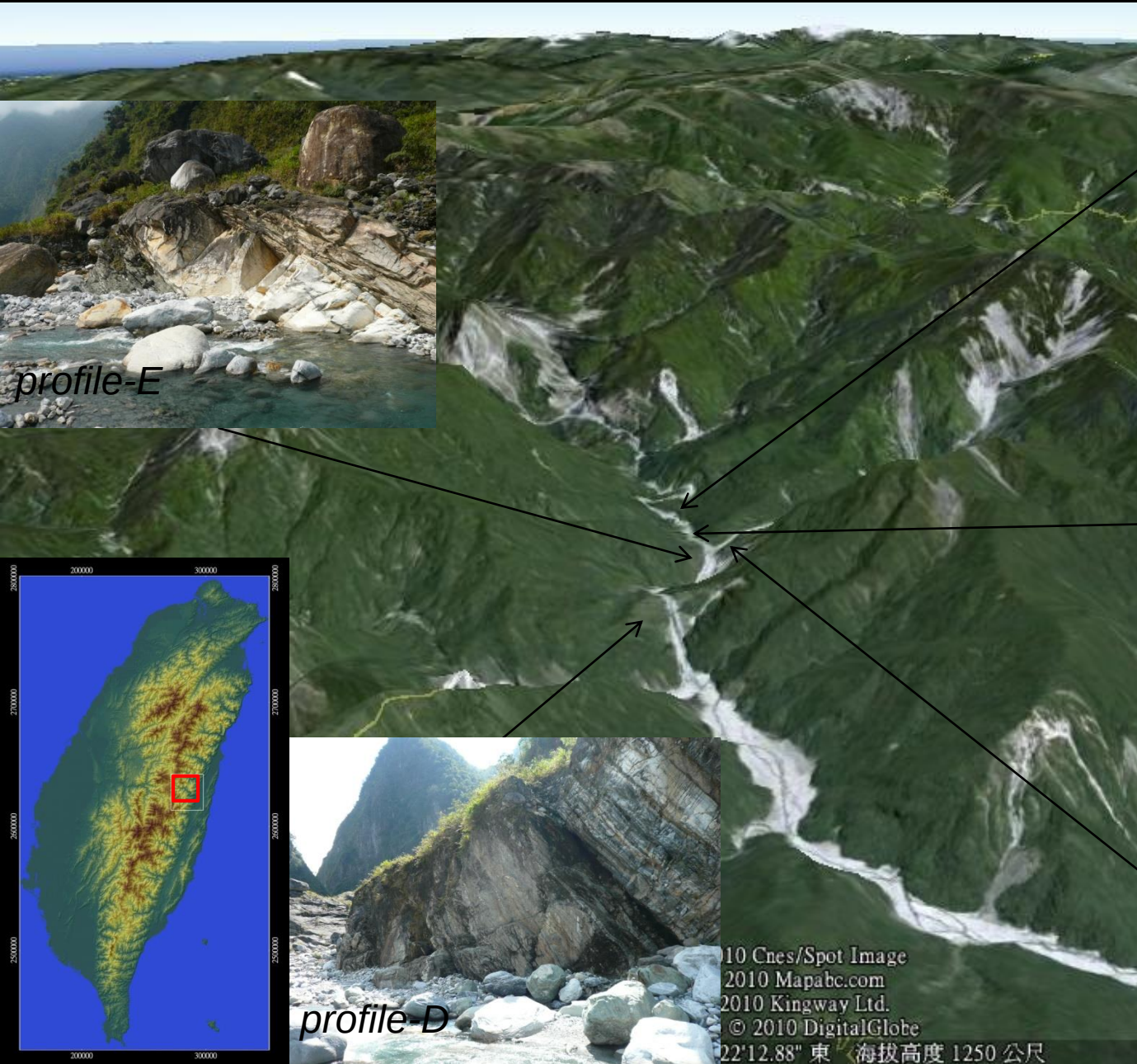


(6)



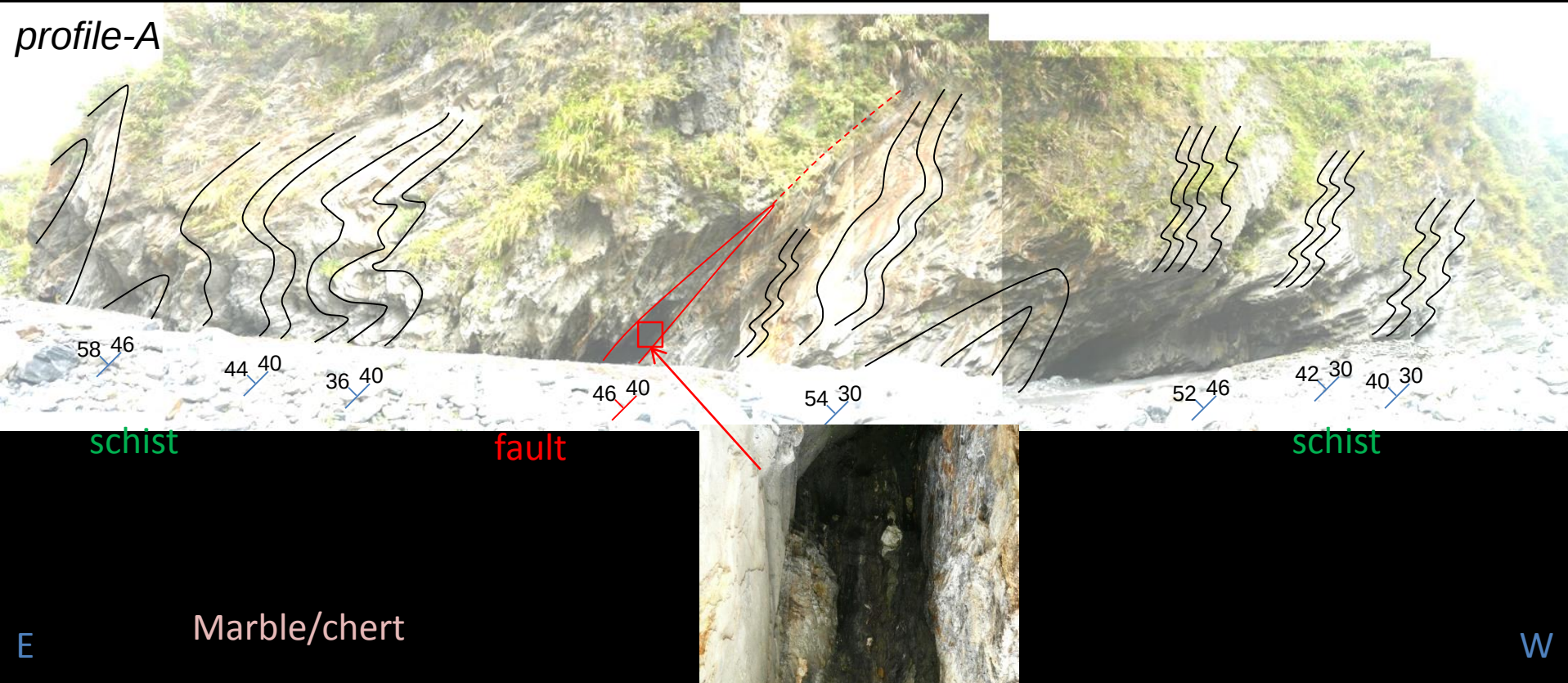


An example of Wanrung area



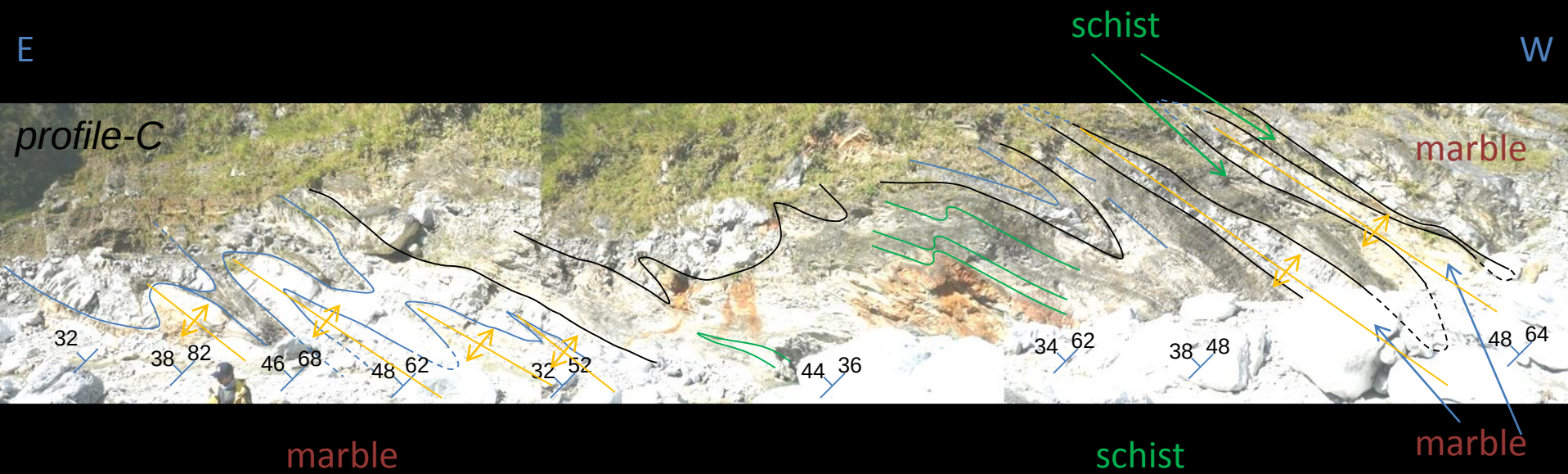
10 Cnes/Spot Image
2010 Mapabc.com
2010 Kingway Ltd.
© 2010 DigitalGlobe
22°12.88" 東 海拔高度 1250 公尺

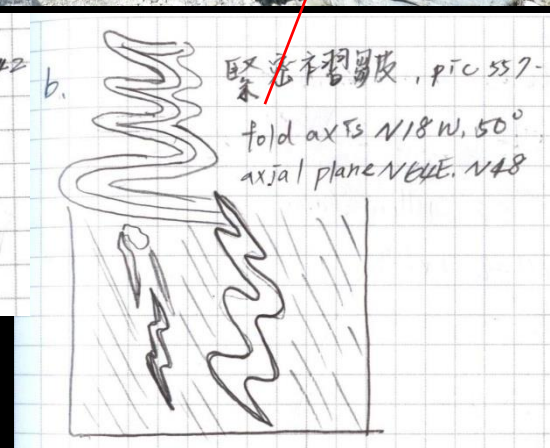
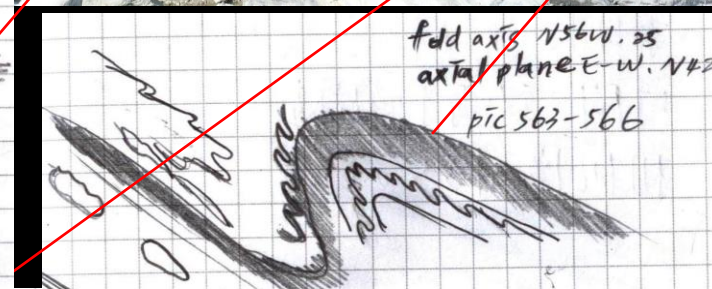
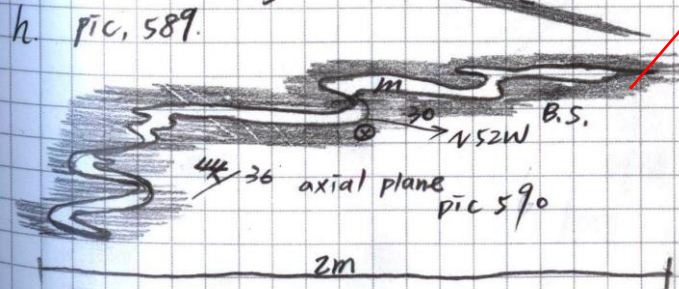
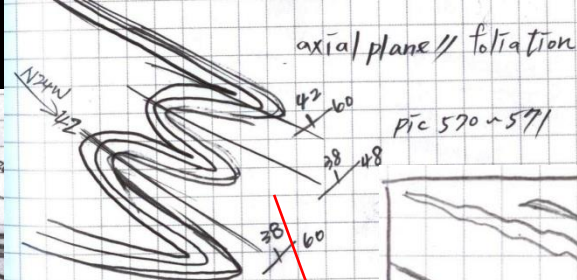
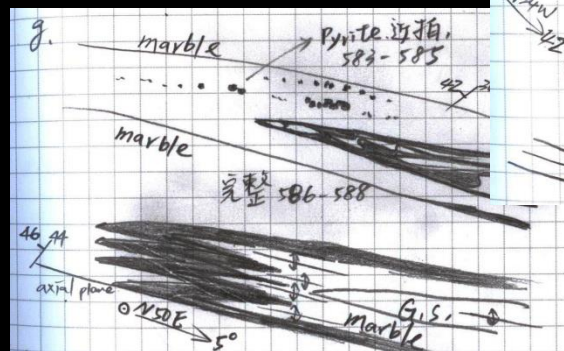
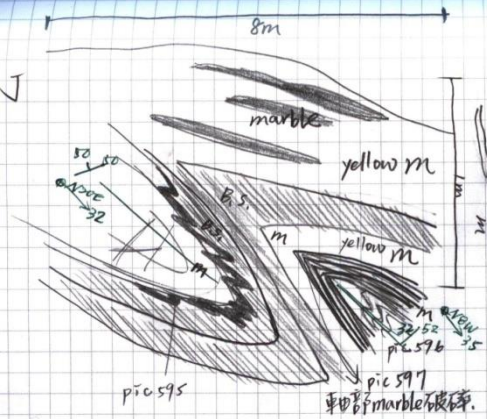
profile-A

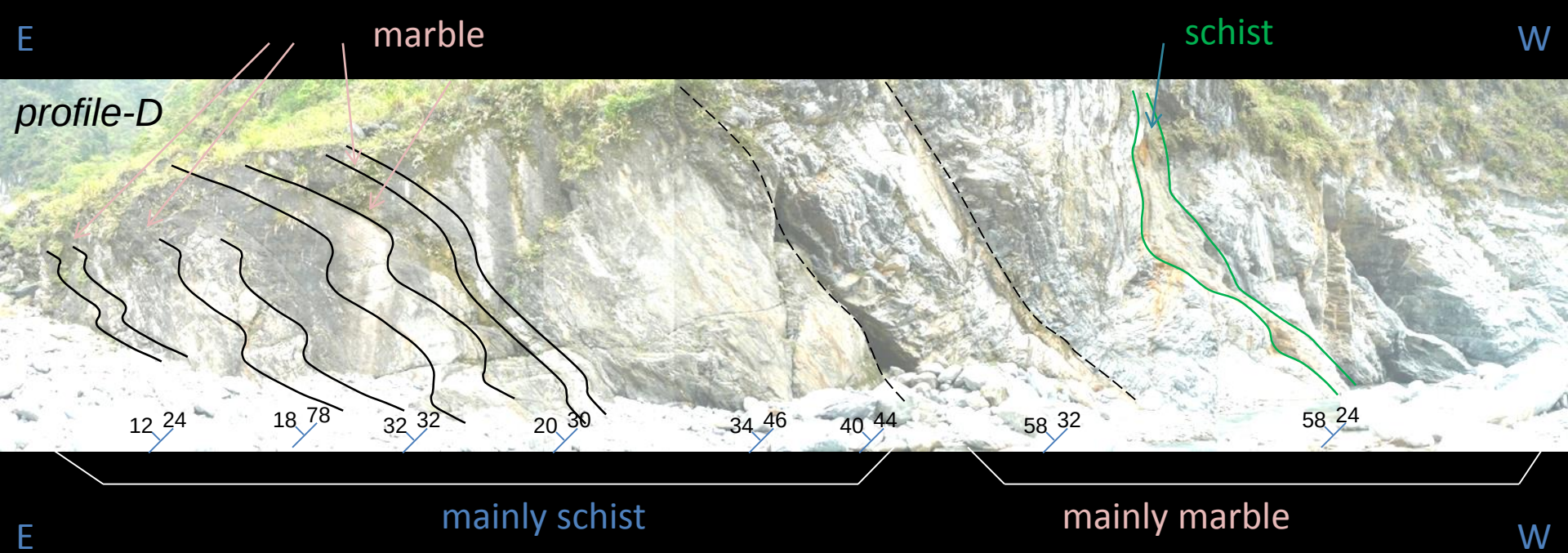


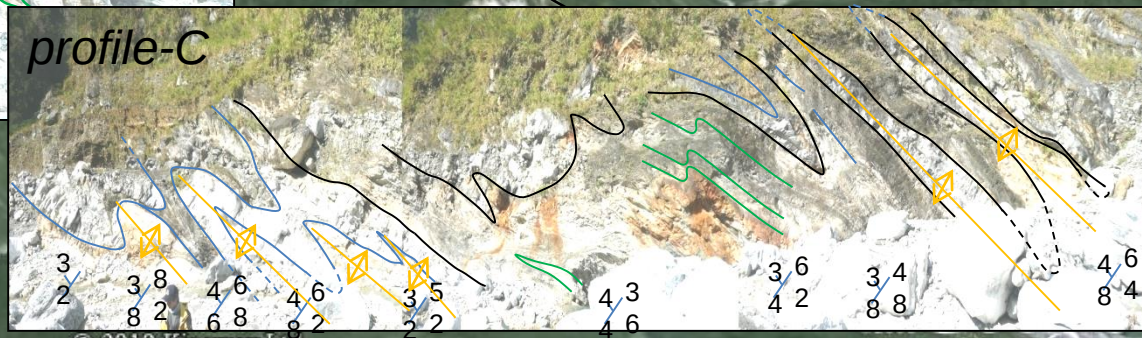
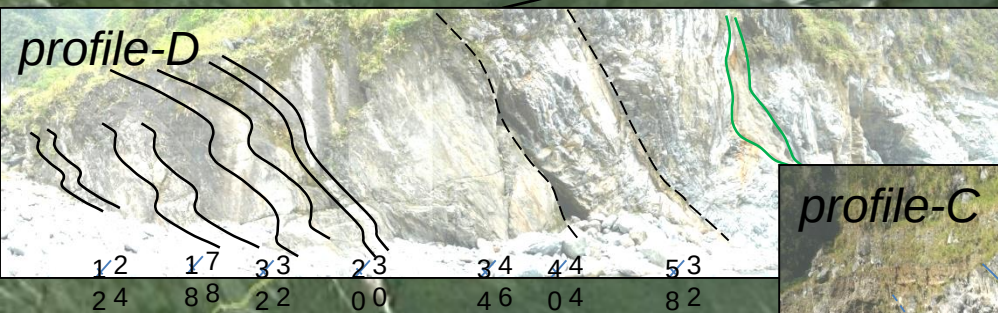
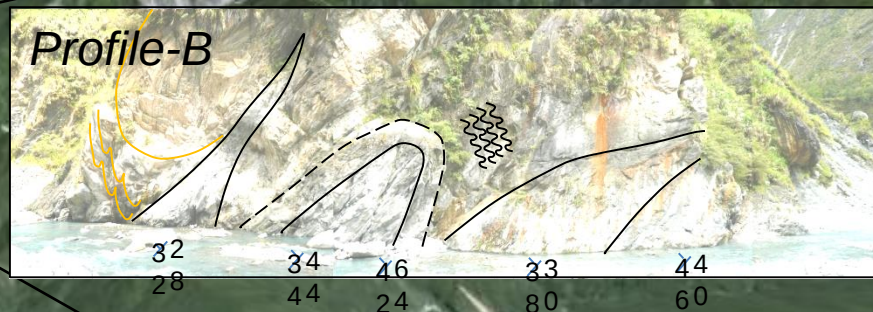
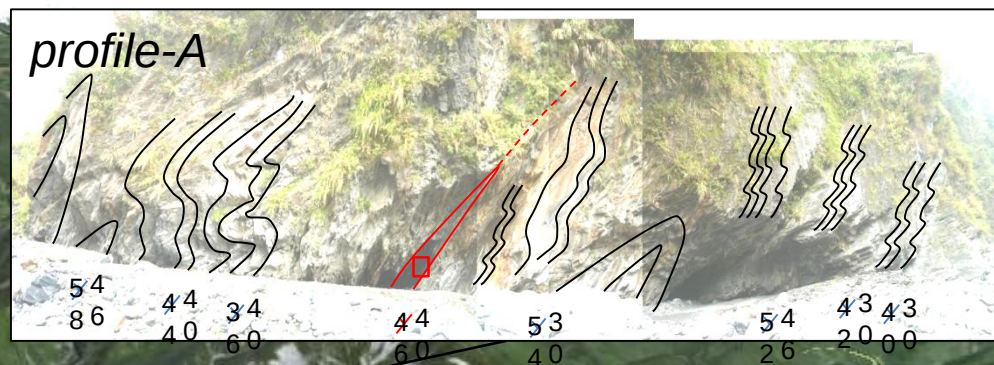
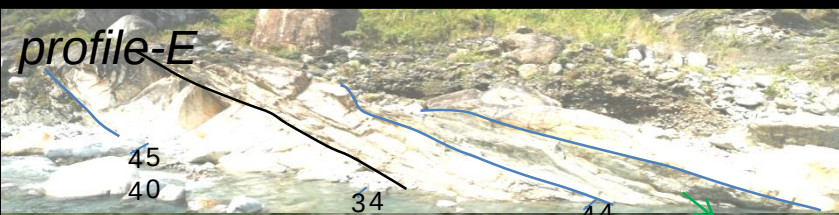
Profile-B











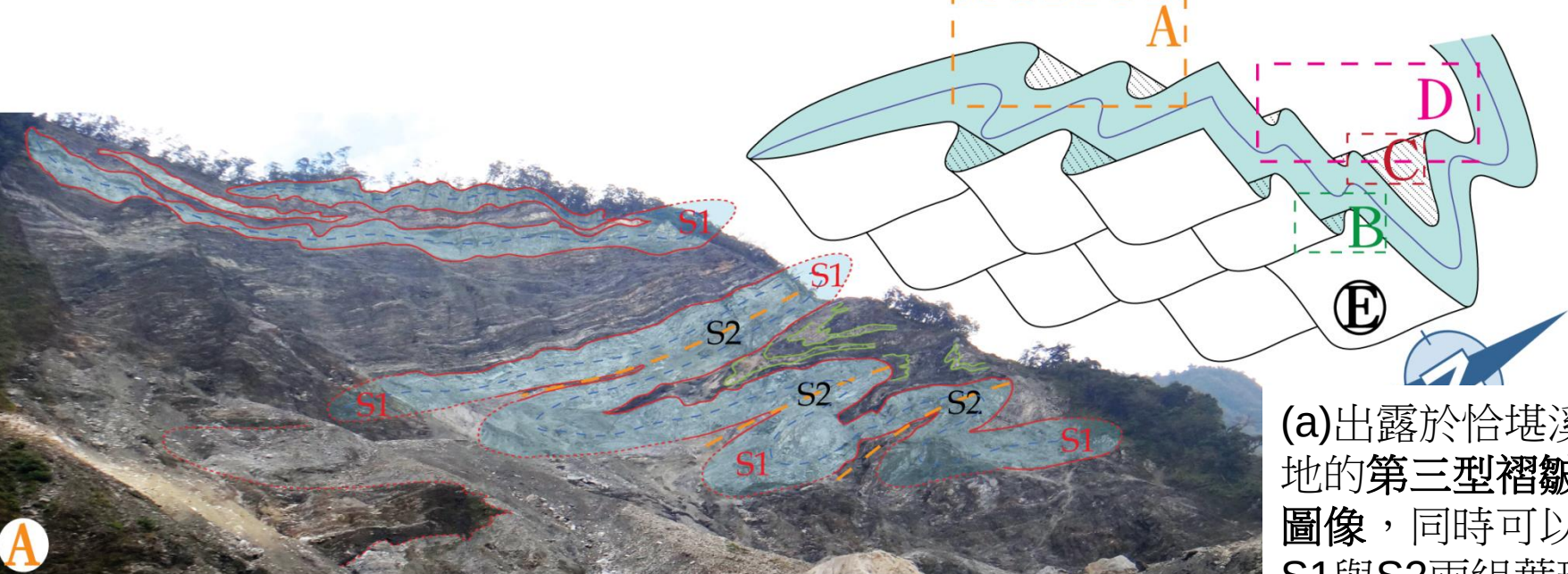
© 2010 Kingway Ltd.

Image © 2010 DigitalGlobe

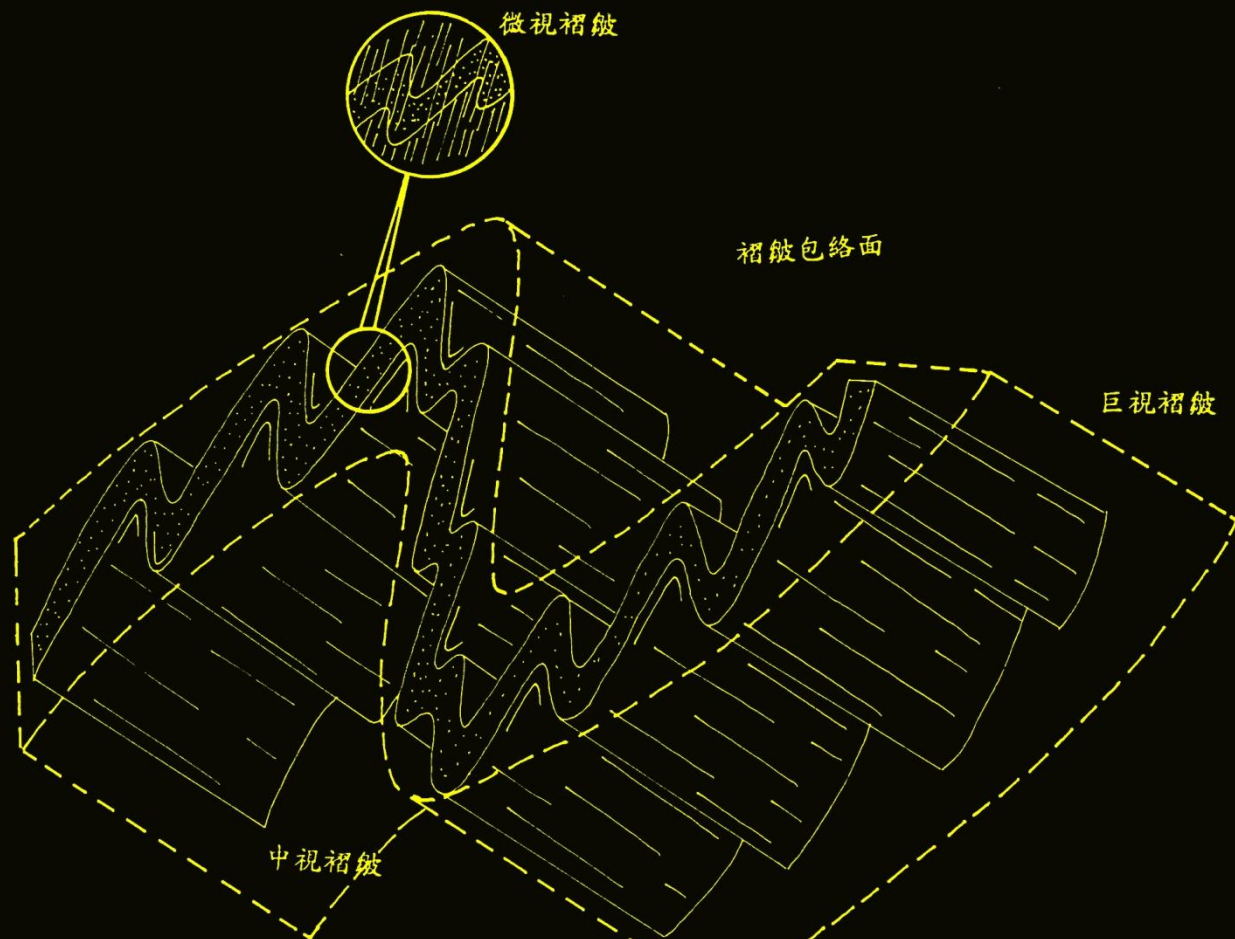
圖像日期: 2004 七月 11 - 2005 十二月 23

23°52'17.95" 北 121°22'12.88" 東 海拔高度 1250 公尺

視角海拔高度 5.65 公里



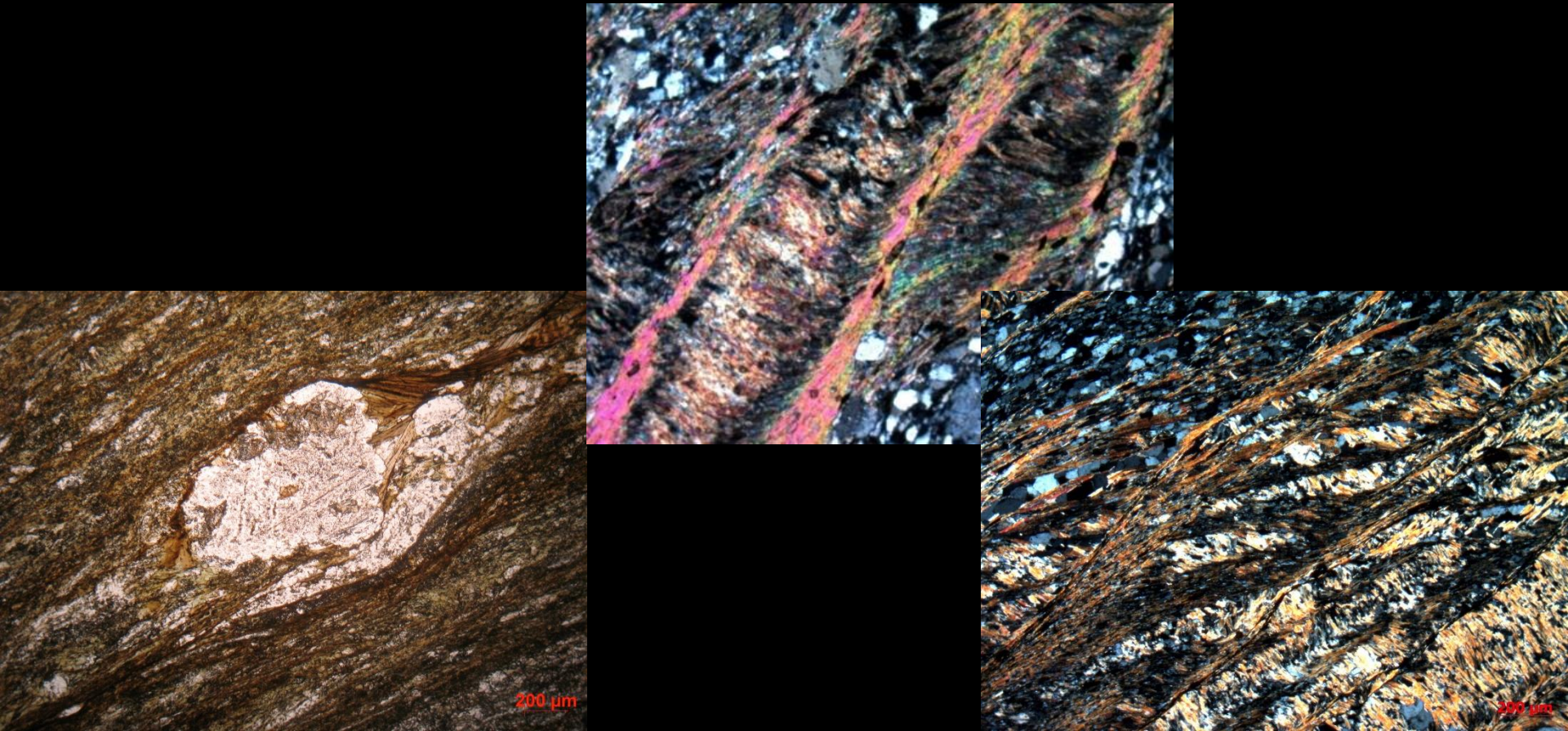
(a)出露於恰堪溪崩塌地的第三型褶皺干涉圖像，同時可以發現S1與S2兩組葉理面；
 (b)出露於壽豐溪支流的第一型褶皺干涉圖像，顯示強烈的褶皺變形行為；
 (c)出露於南北走向剖面中視尺度的偃臥褶皺，同時可以觀察到S3相當平緩的傾角；
 (d)出露於恰堪溪一系列的S2緊密褶皺，局部與大理岩交界的地方還可以觀察得到第三型褶皺干涉圖像

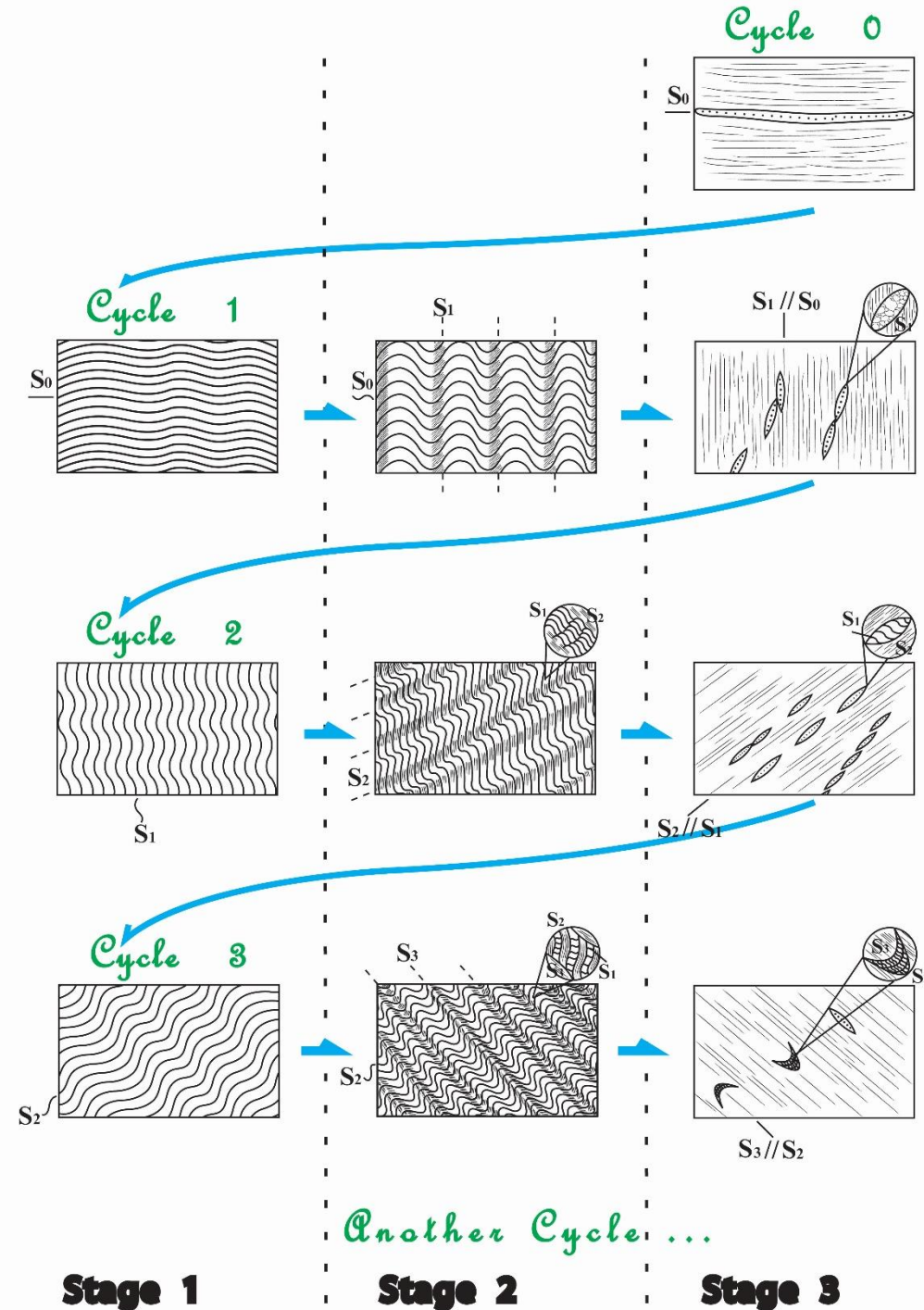


- Correlation of structures, **microstructures** and **metamorphic assemblages** in complex multiply deformed areas is of fundamental importance from the point of view of understanding structural geometry and deformational and metamorphic history.

三、大南澳片岩的地質構造特性-移位循環

- 後期構造變形的結果常常會覆蓋或毀損前期組構，所以往往不易發現，多模糊不清或幾乎平行於新生組構。
- → 透過**微視構造**的分析，我們可以用來建立變形的歷史。微視構造的分析包含了劈理的特性、機制、礦物組成等，顯示當時的溫壓環境及運動方式等。

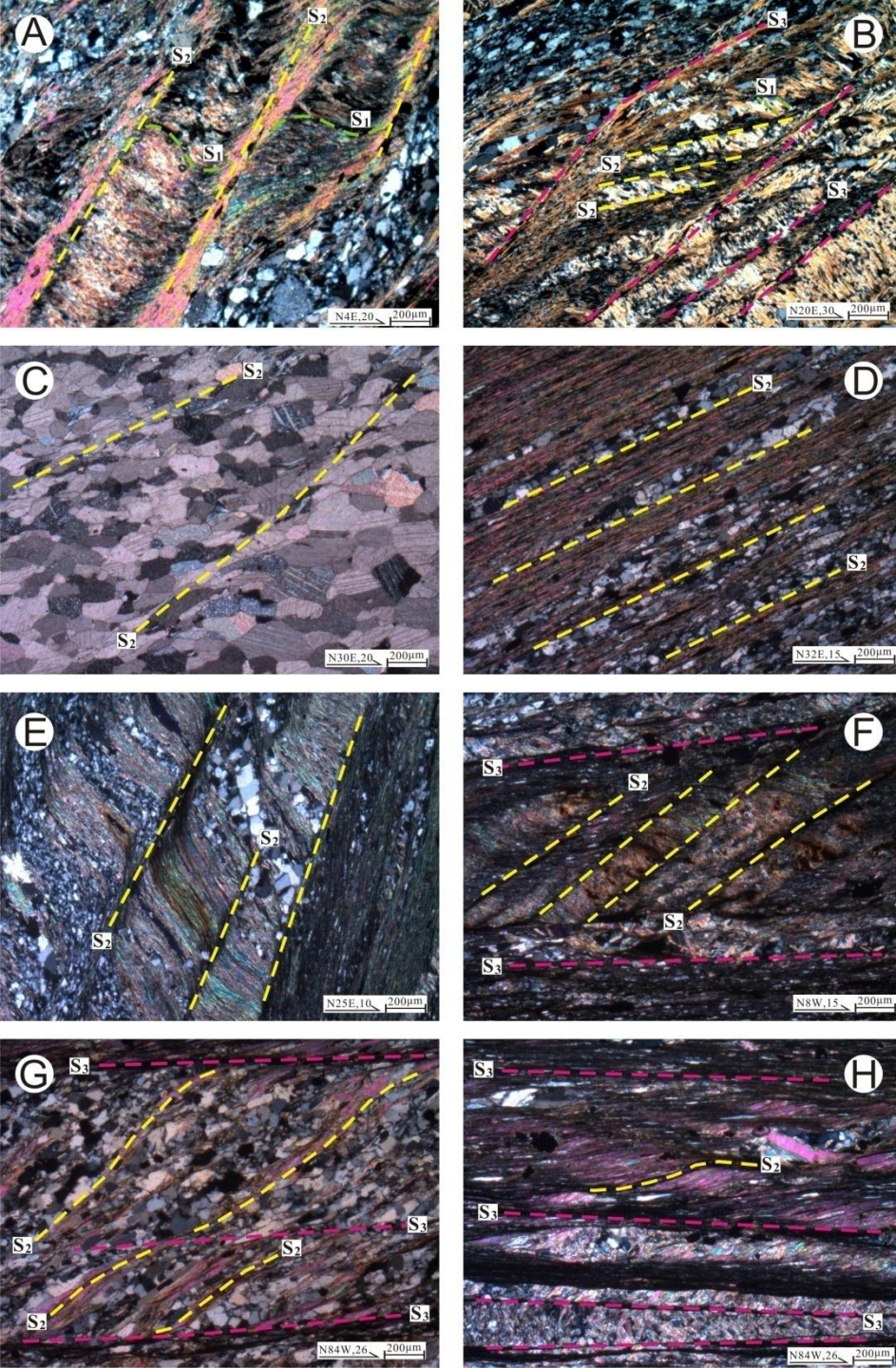




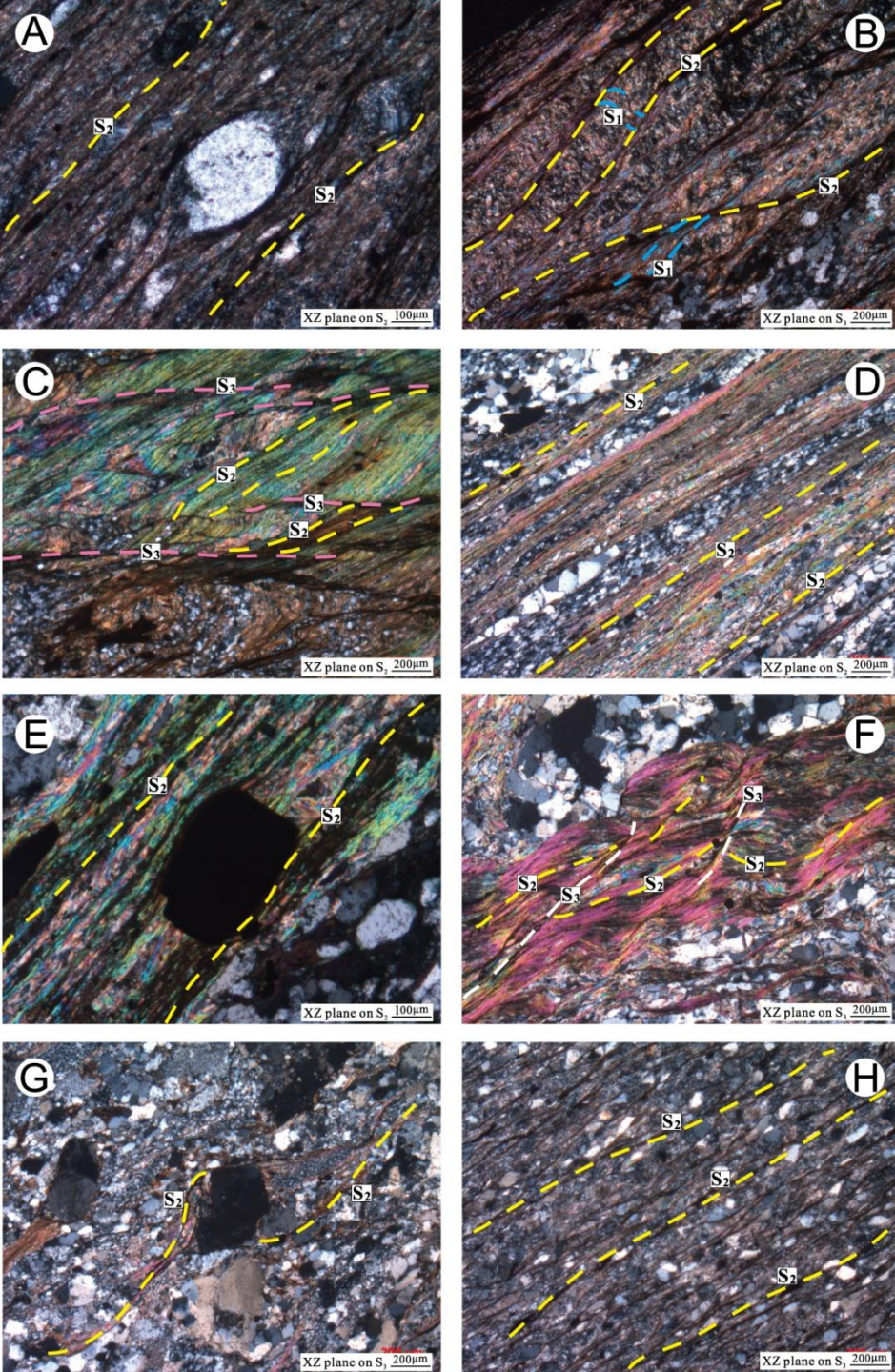
當岩體遭受連續的漸進變形或移位構造影響下，運動方向的稍微偏移會造成本質上是同時期但位態稍有不同的組構。這樣的現象稍有疏忽，即可能產生對比上的錯誤。

托比敘和派德生（Tobish and Paterson, 1988）則提出移位循環（transposition cycles）的觀察方法，同一時期產生的複合葉理會有：1.大致平行的方向；2.相同的形態；3.短距離內因強度的改變造成劈理型態的快速變化；4.相似的礦物組合。

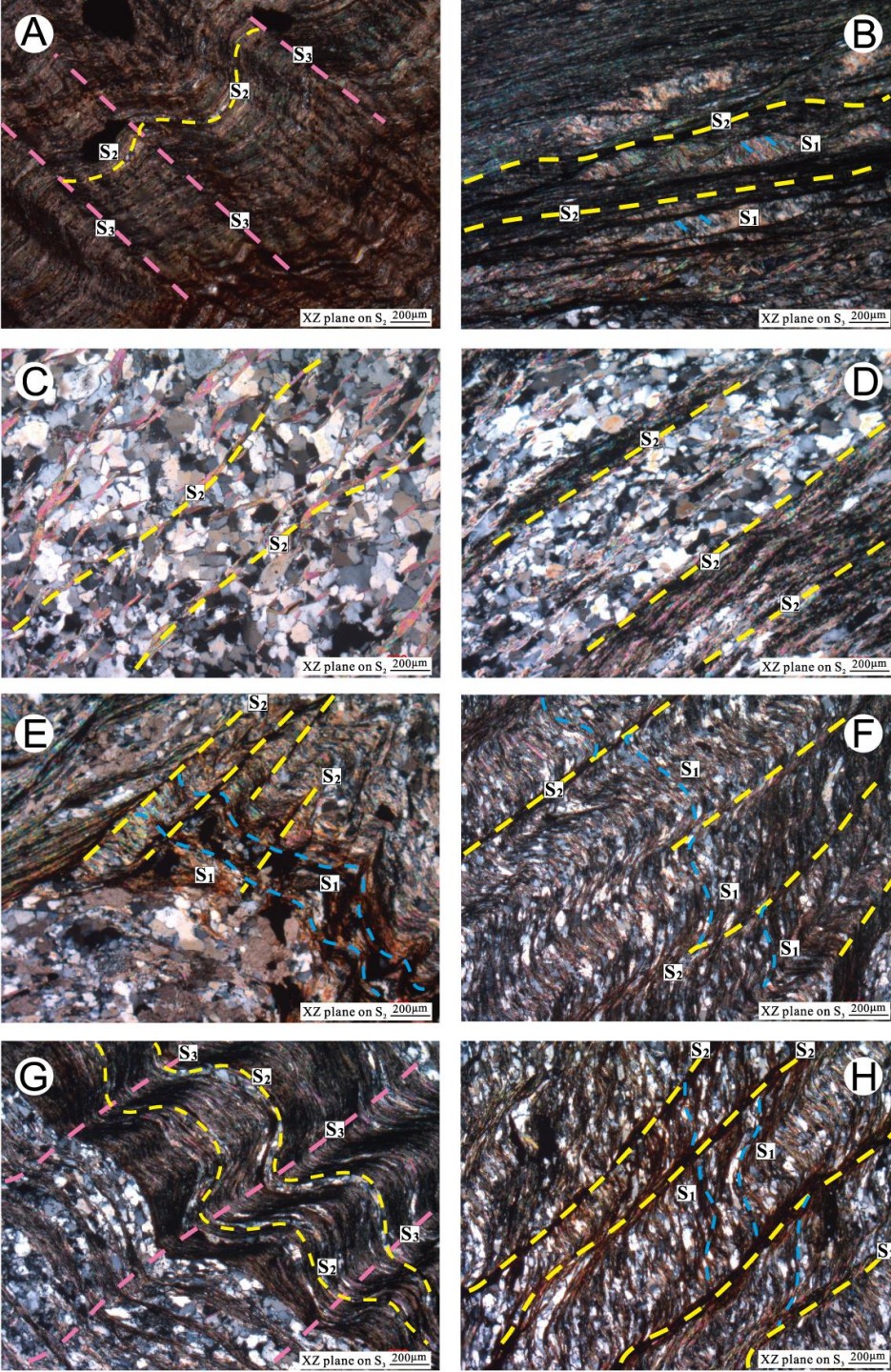
Transposition cycles



- 萬榮地區包含了三組的複合葉理面，移位循環的發育可以從 **Cycle 2/Stage 1** 一直發育到 **Cycle 3/Stage 1**，其中最為發達的是 **Cycle 2**，從最初略有彎曲的 **Stage 1** 到夾皺劈理為主的 **Stage 2**，最終 **Stage 3** 形成一組新生的連續劈理，皆可完整觀察得到。
- S1 多存在於 S2 的夾皺劈理中，其餘組構多遭強烈的 D2 變形毀損
- S2 可在夾皺劈理中觀察，其分異層理已發育的相當完整
- S3 則局部出露於東半部，以北西走向為主，未有新礦物的生成



- 和平地區的移位循環的發育更趨完整，除了上覆的板岩層中可以觀察**Cycle 1**以外，其餘片岩地區的移位循環從**Cycle 2/Stage 2**一直發育到**Cycle 3/Stage 2**，雖然在中視尺度中只看到一組主要的葉理面從東北西南走向轉為東西走向，但在移位循環中時常可見前一期的循環（**Cycle 1/Cycle 2**）變成夾質領域中的劈理，顯示其變形程度的劇烈。
- S_1 以殘存的夾質領域為主
- 發育在和平北溪的 S_2 葉理面與黃鐵礦，旋轉的黃鐵礦與其壓溶所產生的新生礦物，顯示D2強烈的非共軸變形
- S_3 則是局部彎曲作用在應變集中的地方局部被最後一期變形作用D3局部折彎



- 南橫地區相較於上述兩個研究區域，其變形程度明顯較低，移位循環的發育最高只到**Cycle 2/Stage 1**，其餘皆以**Cycle 1**為主，偶有再結晶的雲母或石英出現，但多數的移位循環都是以**Cycle 1/Stage 2**的夾皺劈理為主。
- 南橫地區發育的劈理變質度較低，S1可在**SC構造**中觀察，其分異層理已發育的相當完整
- S2葉理面常伴隨**F2褶皺**發育，常可於夾皺劈理與新生的S2葉理面中觀察得到
- S3則局部出露於摩天地區

四、大南澳片岩的地質構造特性-再褶皺分析

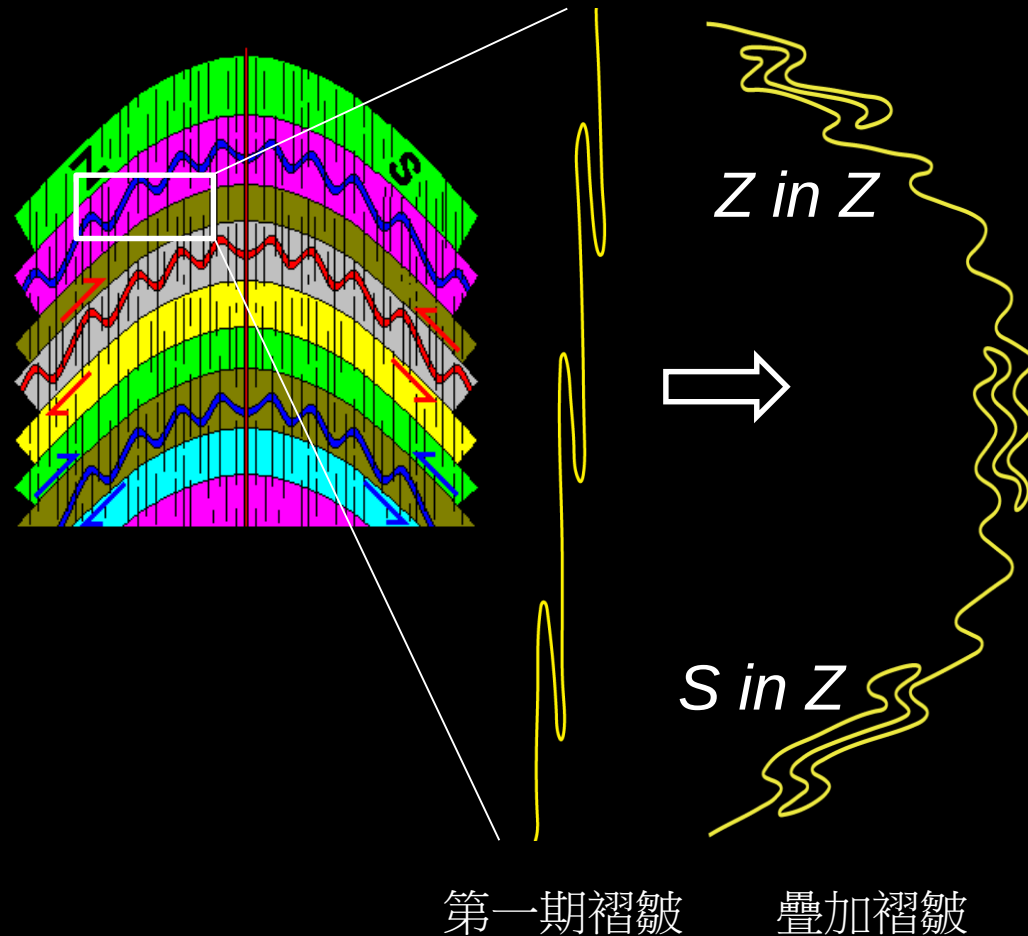
- 複雜的變形歷史，常可見到各種的褶皺構造，甚至可以發現褶皺干涉圖像。
- → 透過再褶皺分析，可以分辨出第一期、第二期、第三期構造等事件。

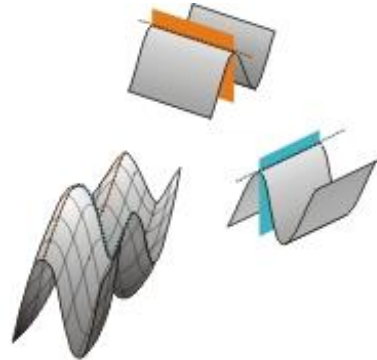
Recumbent folds in Central-Cross-Island-Highway



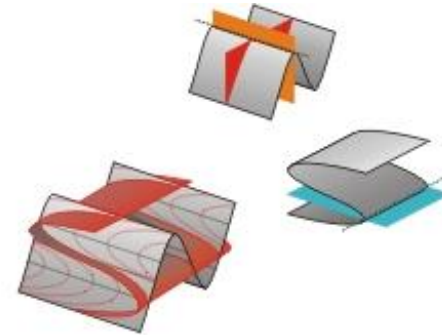
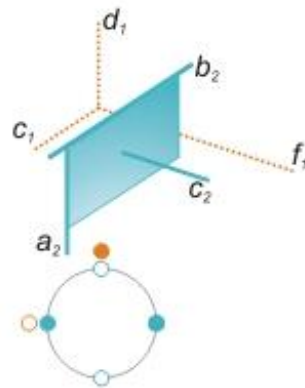
褶皺的疊加分析原則

- 阮賽(Ramsay, 1967)年曾提出在三種類型的褶皺干涉圖像中可以觀察得到S，M，Z三種褶皺互相疊加的結果，本研究進一步延伸其概念，繪製出12種可以追蹤的褶皺干涉圖像。
- 本研究延伸此方法並與區域中出露的構造進行比對。本研究試著比對研究區域中出露的幾個褶皺干涉圖像，並進一步定義出前一期的褶皺軸。

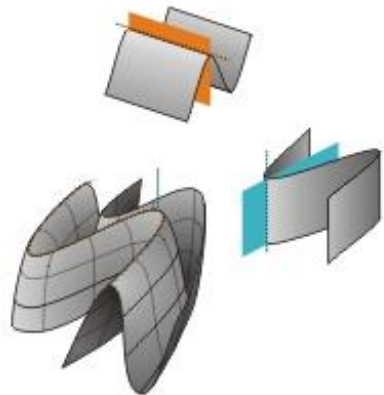
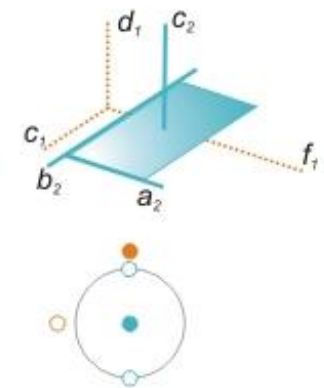




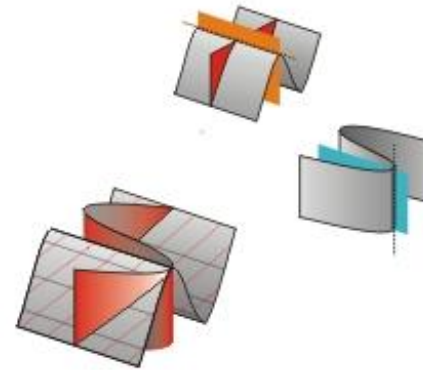
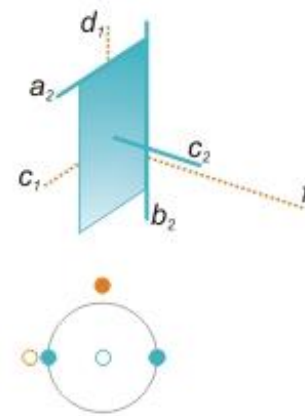
a) Type 1



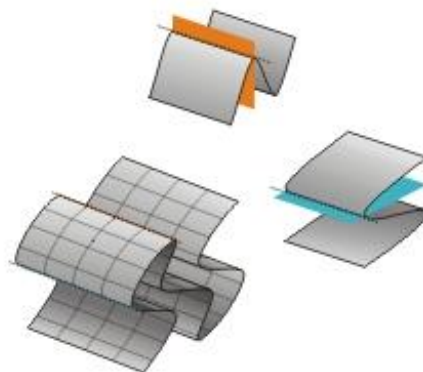
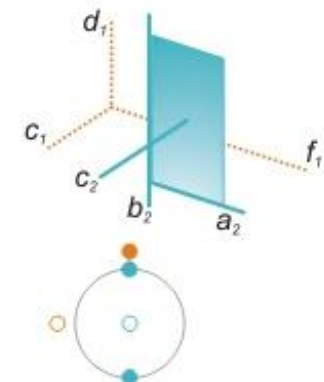
b) Type 0₁



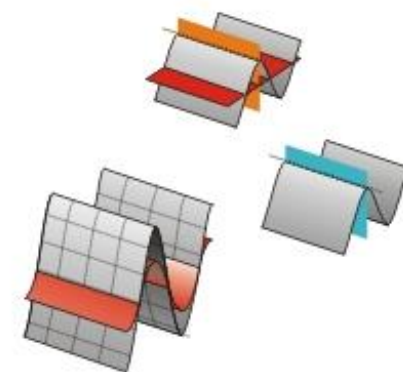
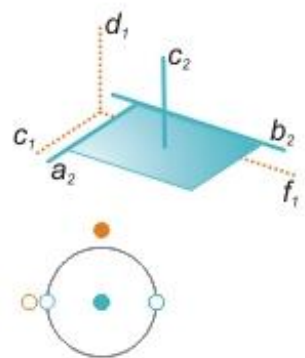
c) Type 2



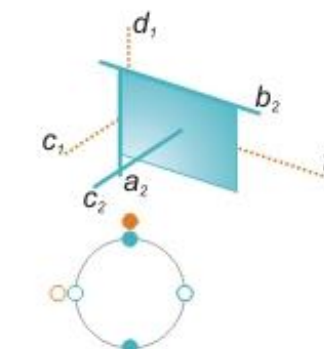
d) Type 0₂



e) Type 3

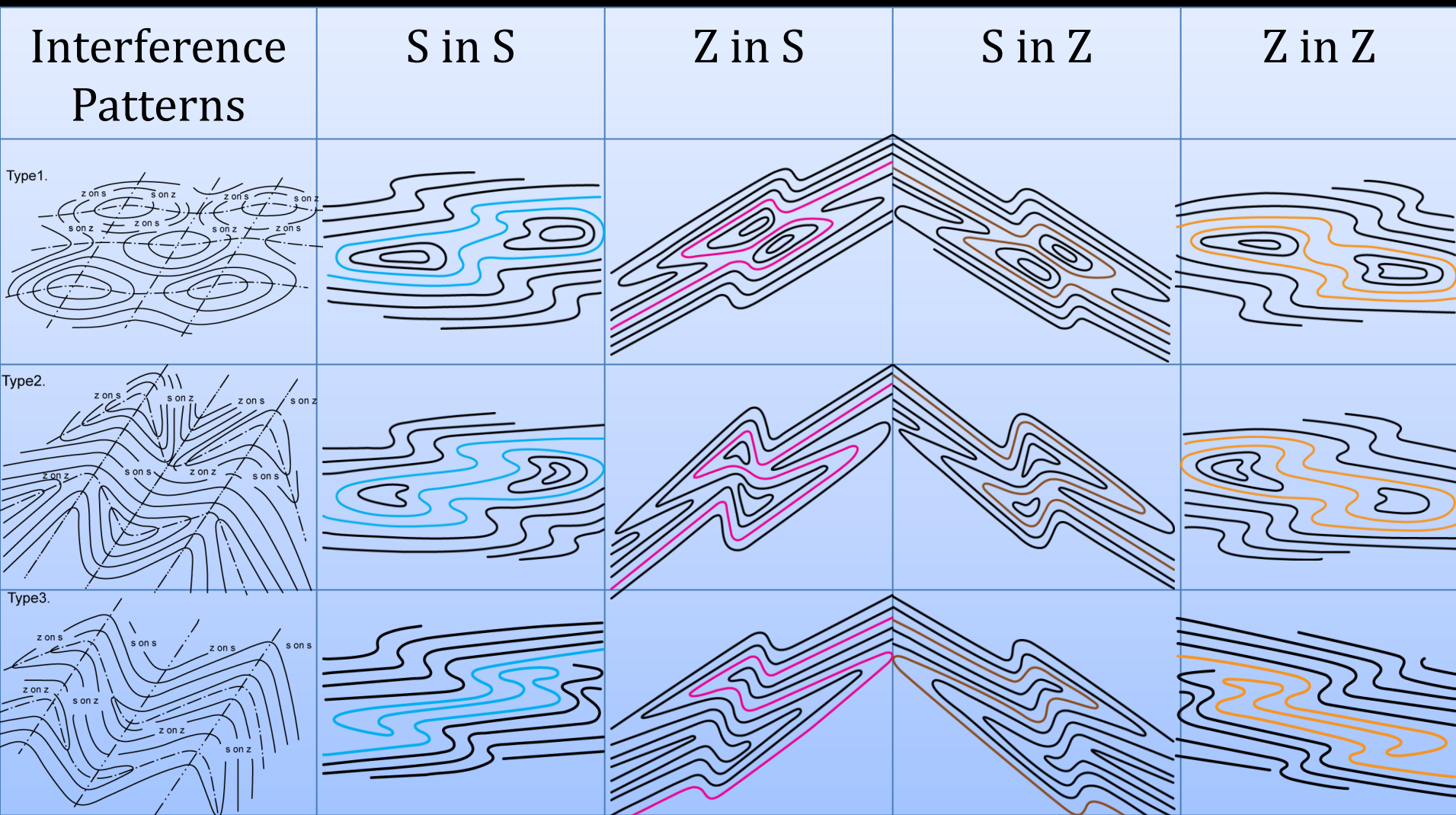


f) Type 0₃

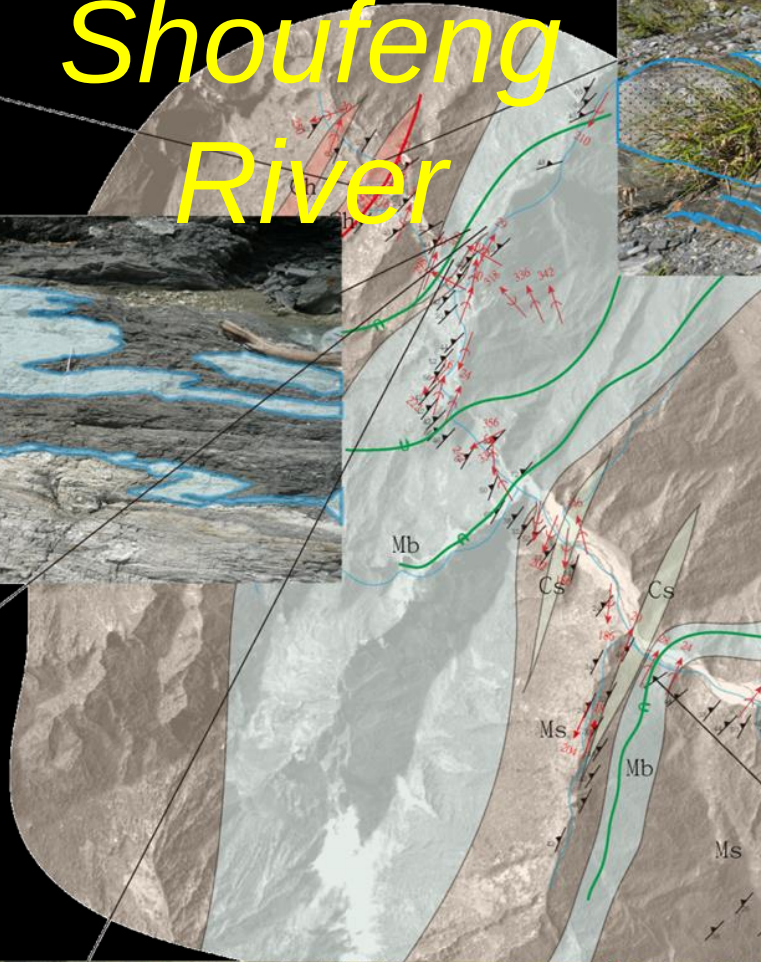
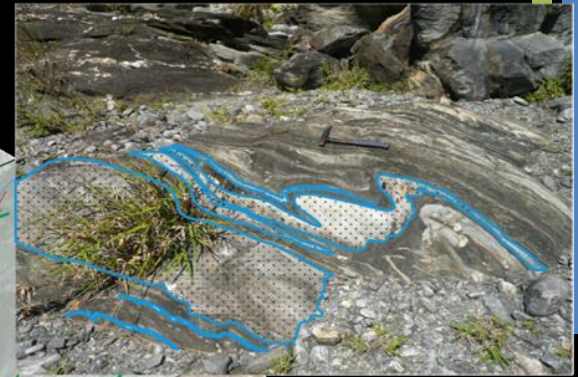


Fold inference patterns

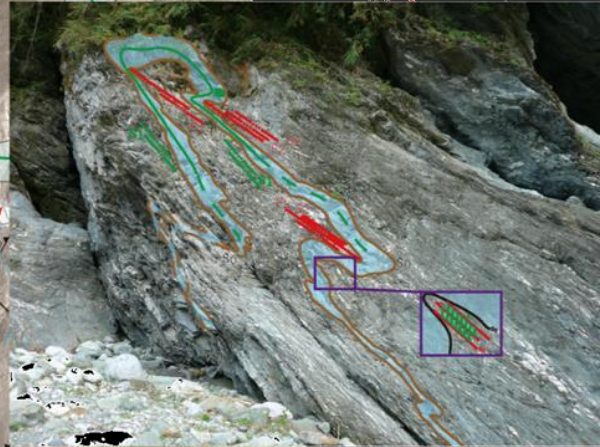
褶皺干涉圖像與S型Z型的十二種疊加關係



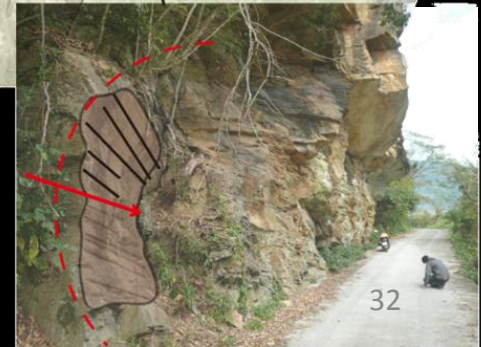
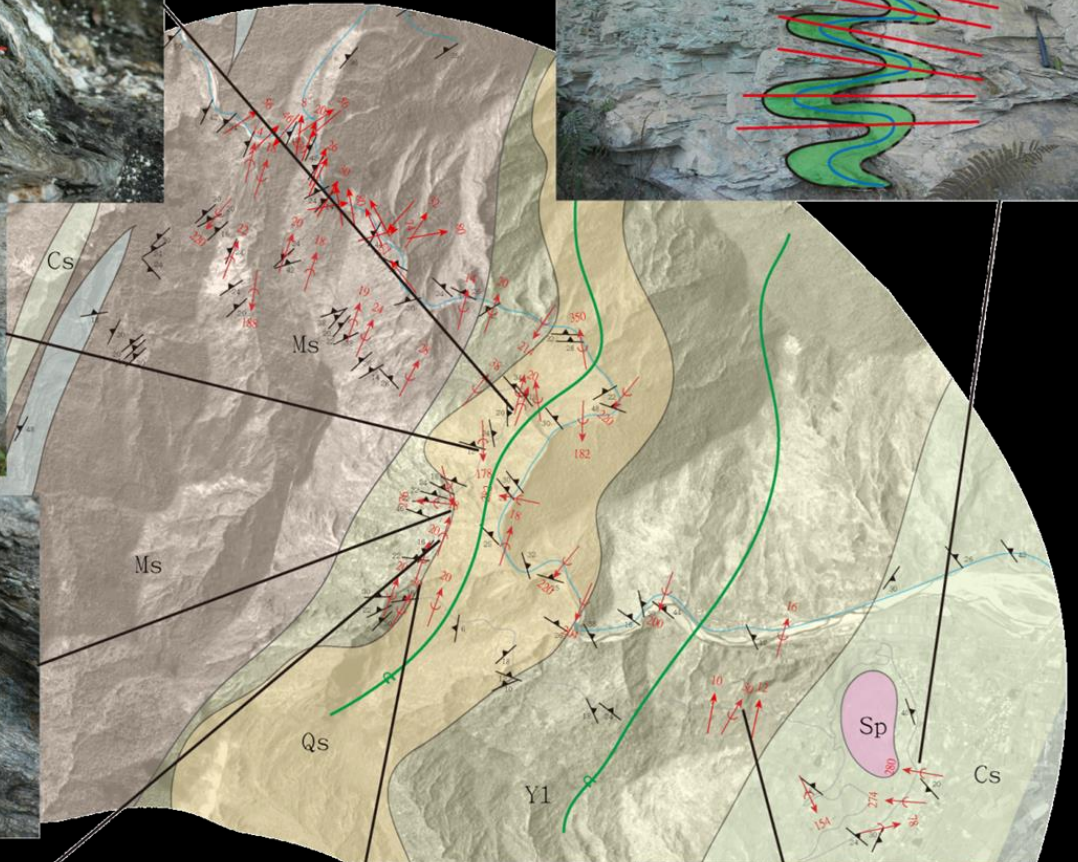
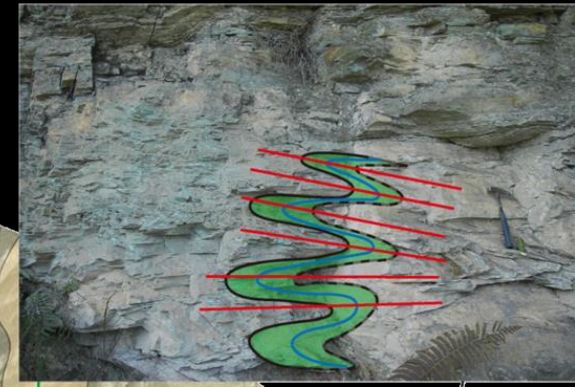
Folds of Shoufeng River



shoufeng



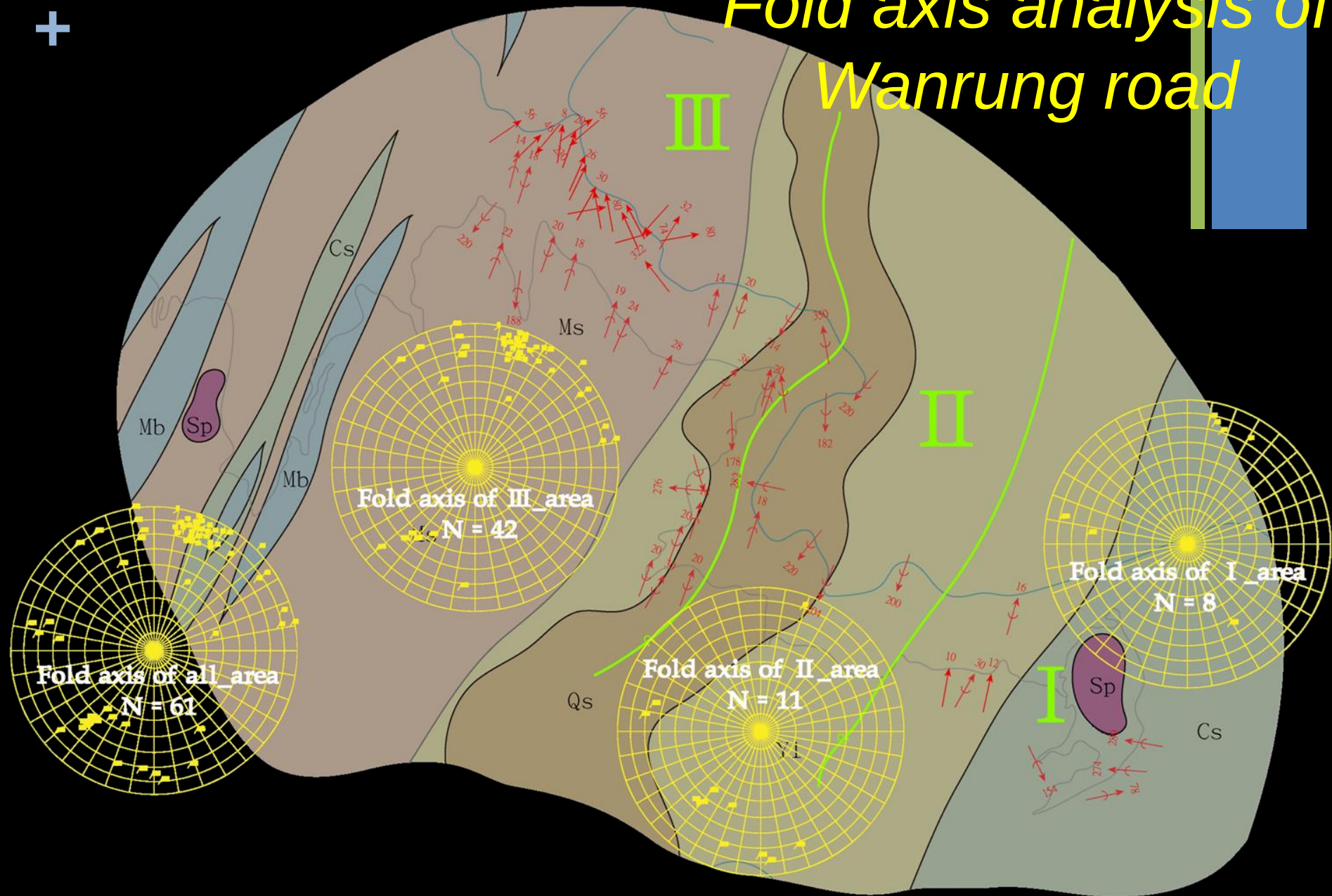
Folds of Wanrung road



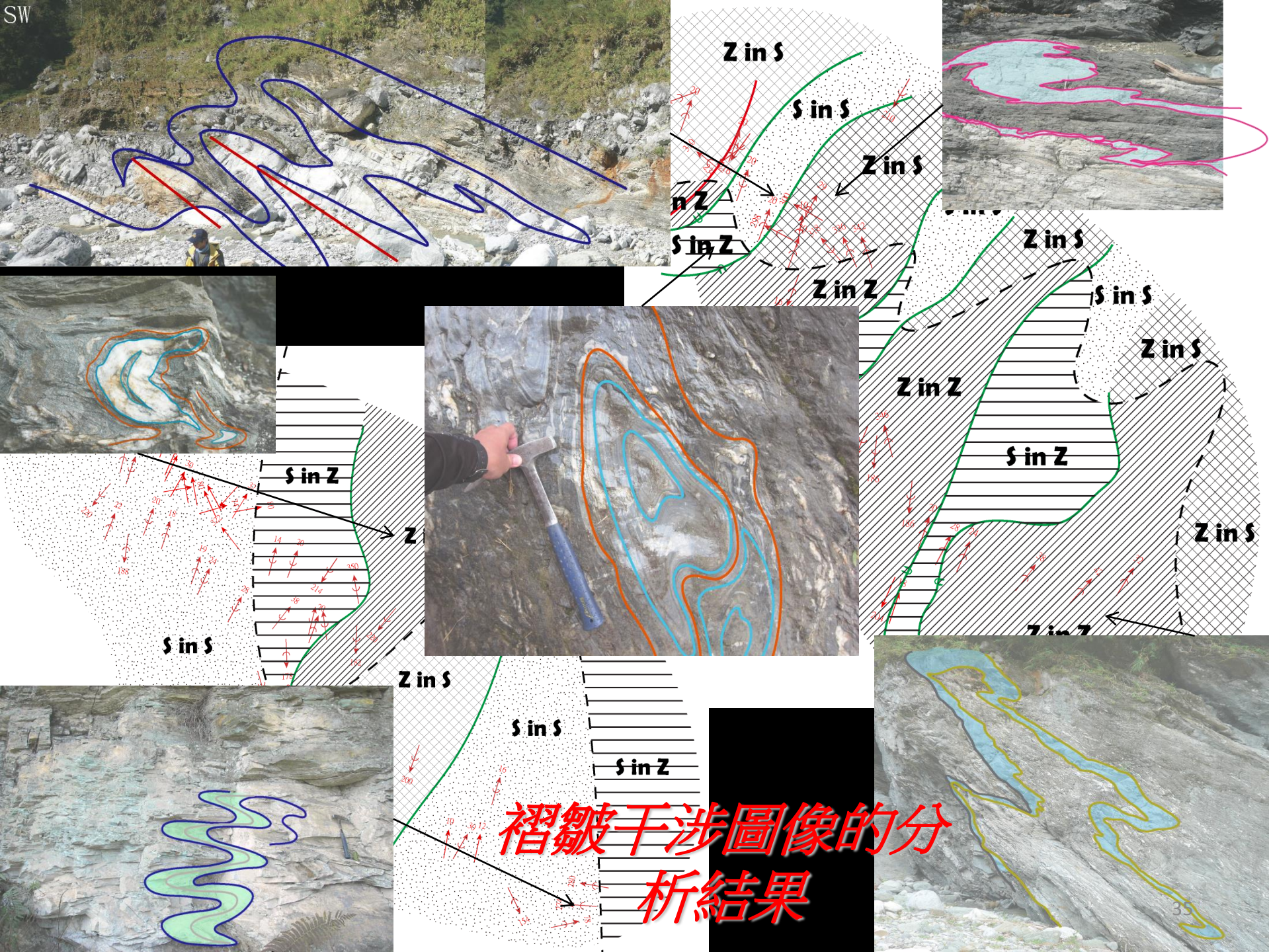


+

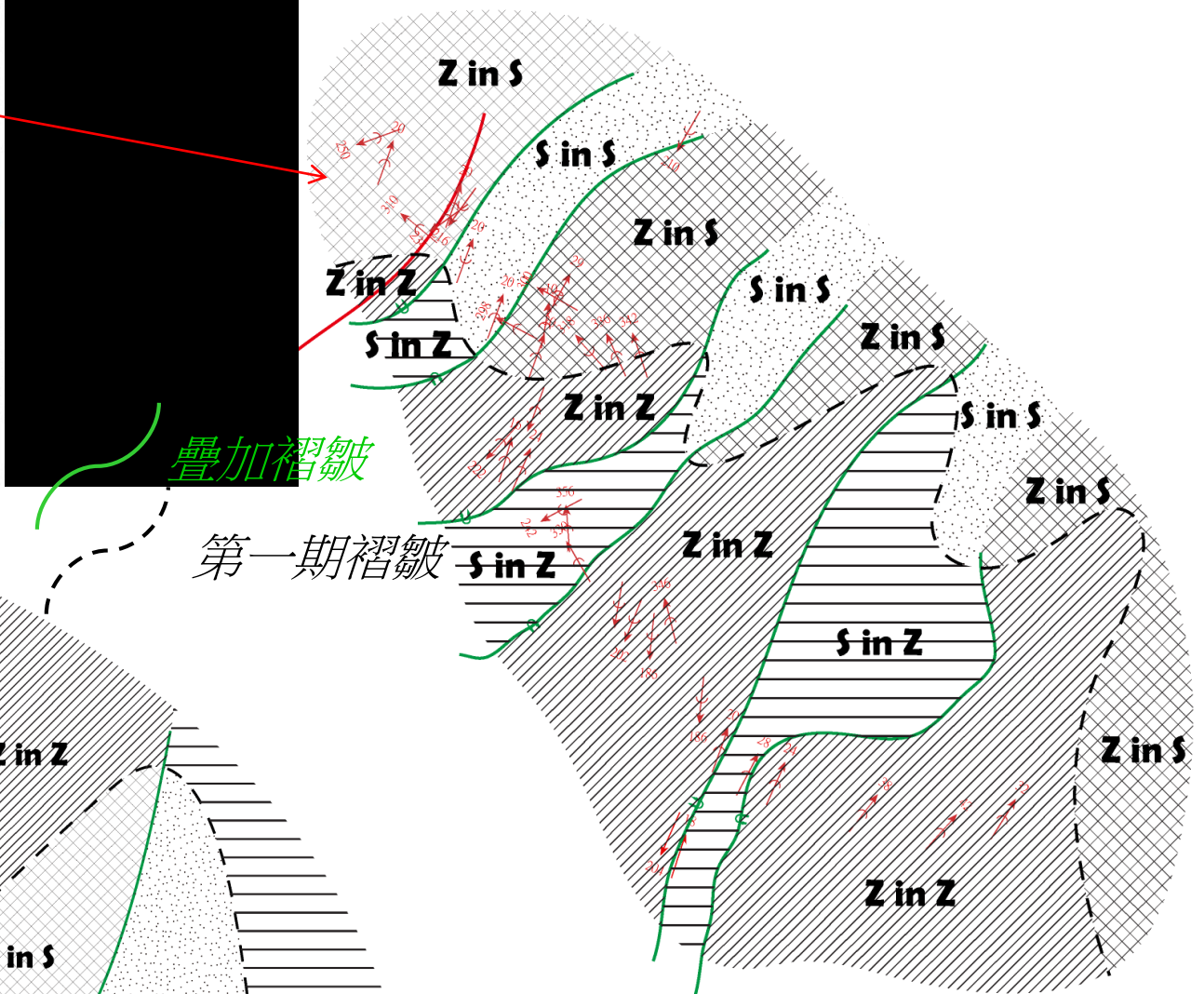
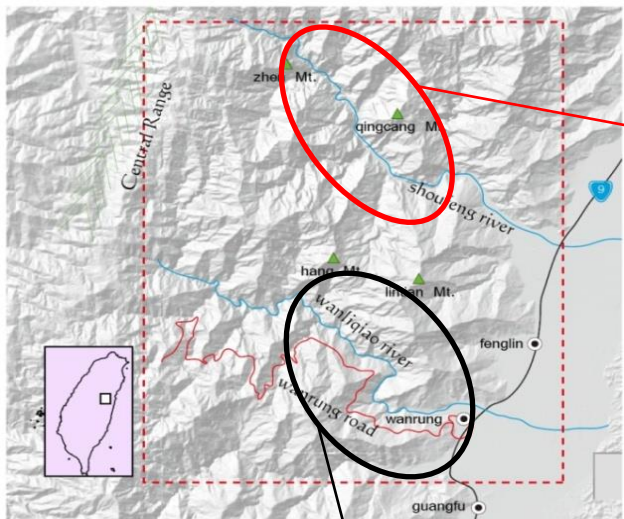
Fold axis analysis of Wanrung road



SW



褶皺干涉圖像的分
析結果

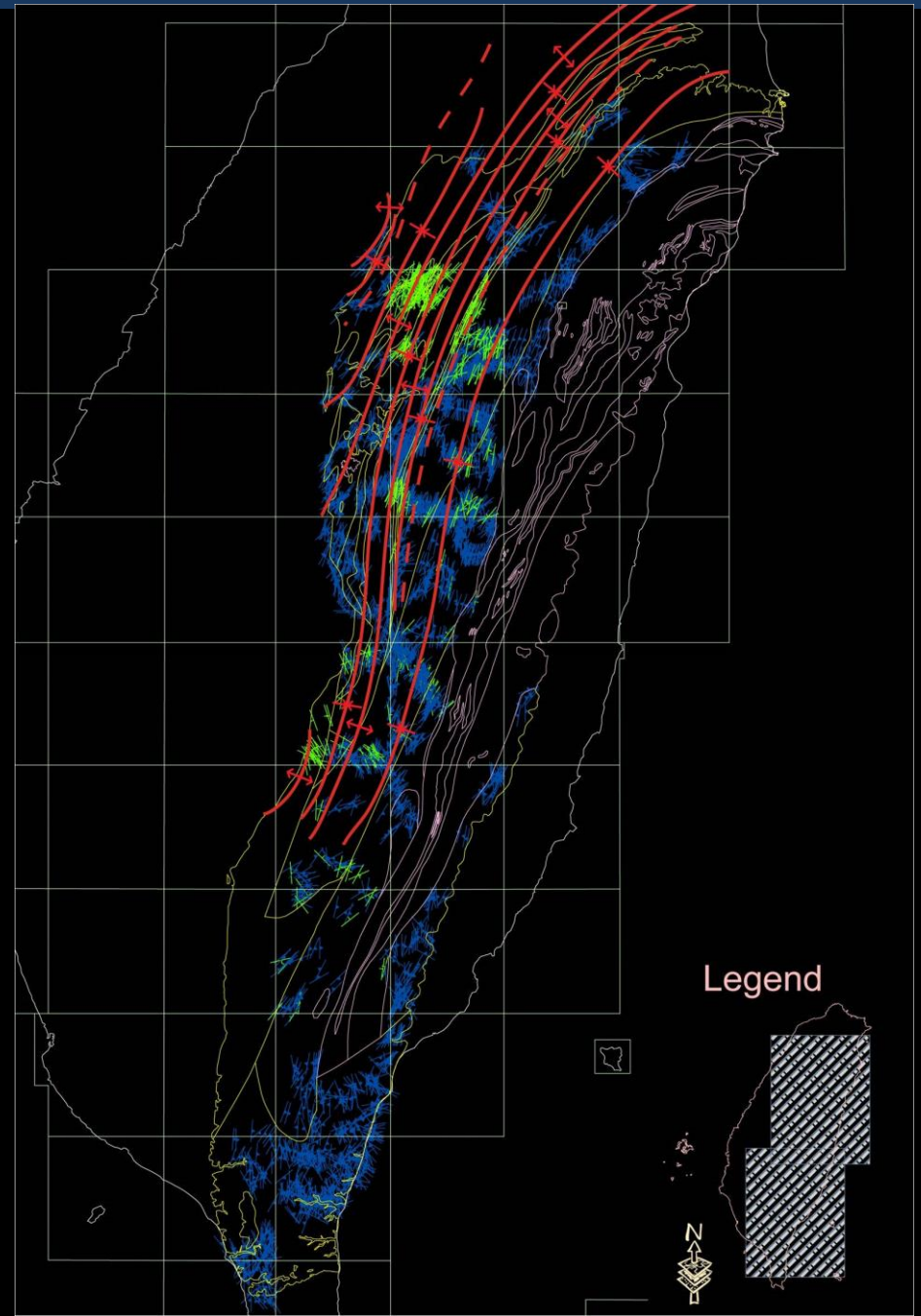


應用褶皺干涉圖像的構造線繪製成果

大南澳片岩的地質構造特性與分析方法-其他

其他待解決問題

- 面積廣大，幾占臺灣三分之一的範圍。
- 俱為高山地區，不易到達。
- 化石稀少，地層對比困難。
- 岩石劈理發達，岩性變化複雜，岩層面辨識不易。
- 褶皺、斷層與移位構造發達，岩層連續性不佳。
- 地層倒轉，層序不明。

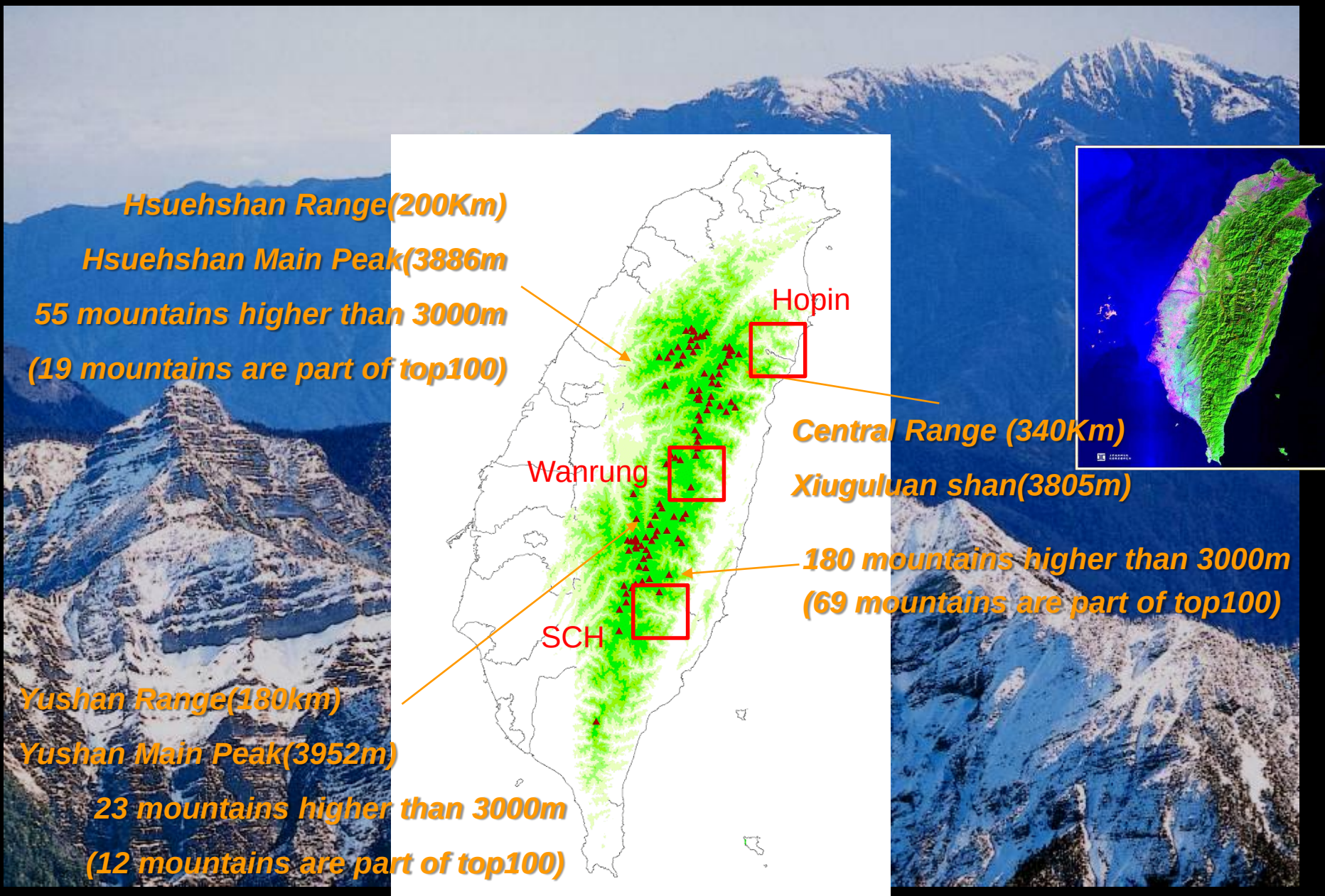




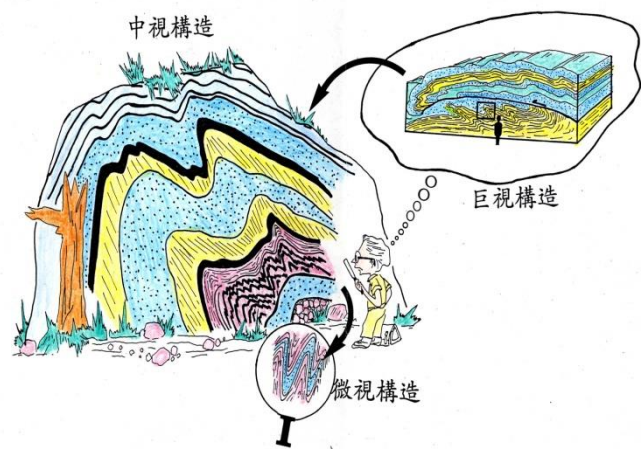
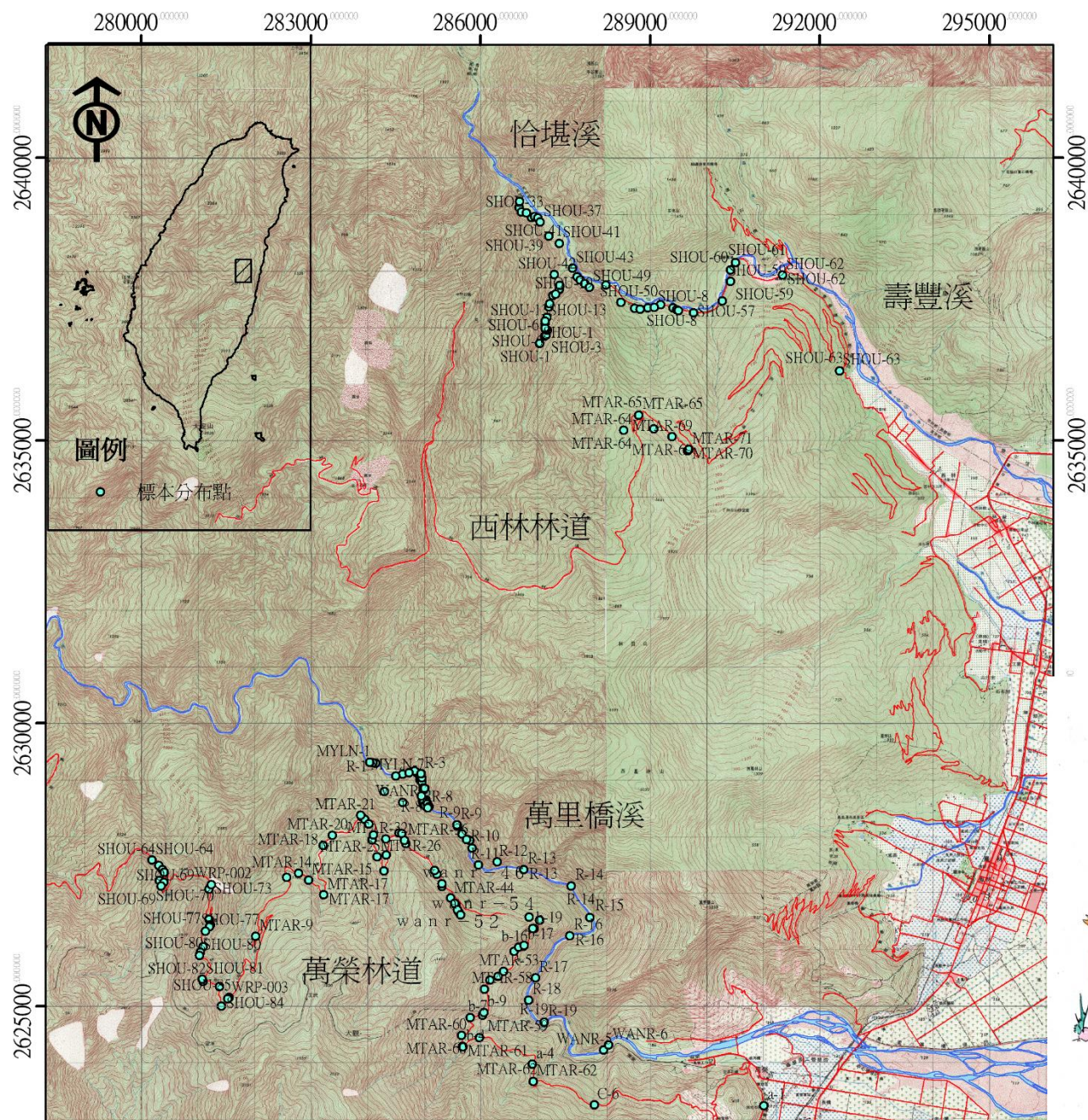
山高水深、岩性複雜、化石稀少、調查不易！



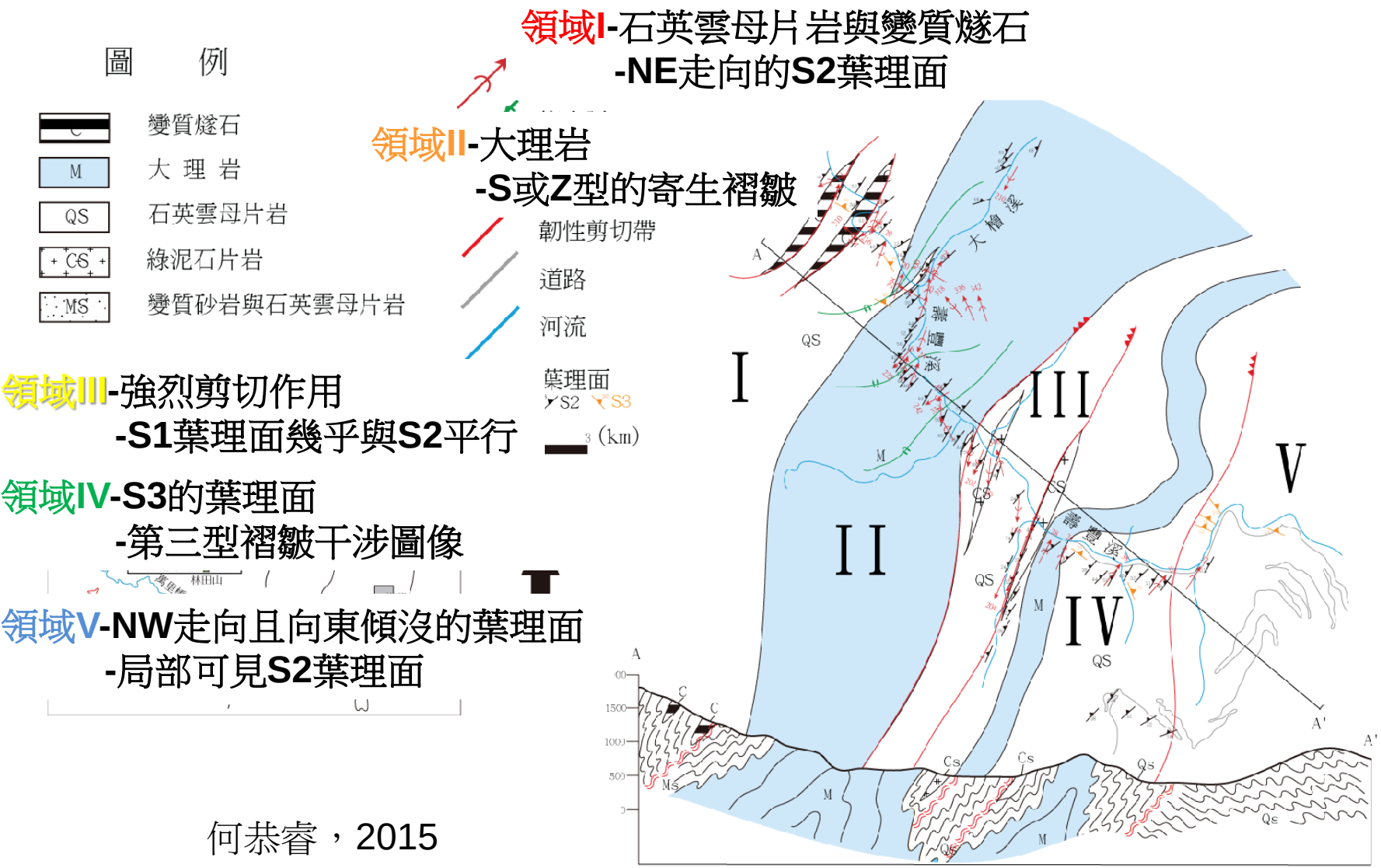
五、萬榮、和平與南橫地區的地質構造分析結果



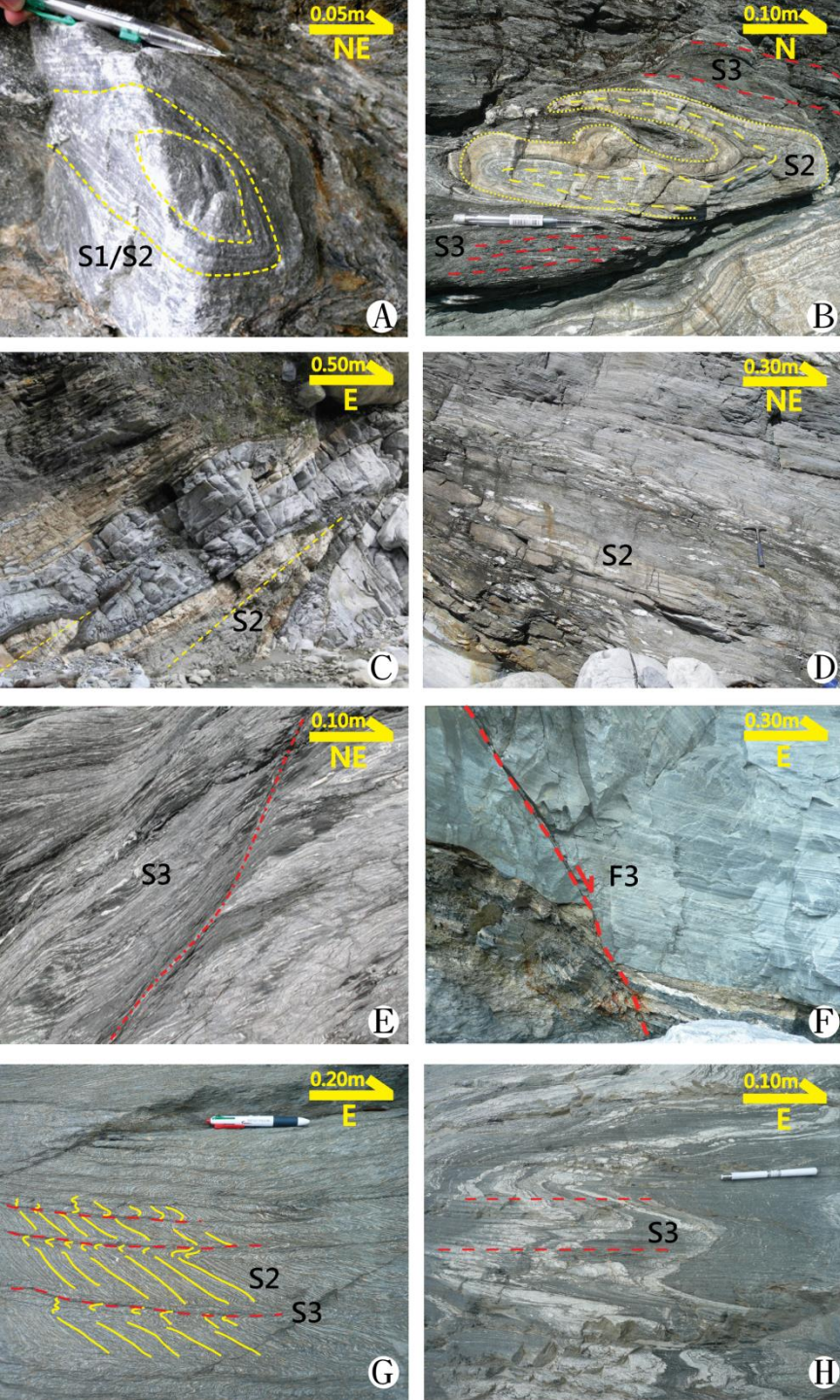
萬榮地區



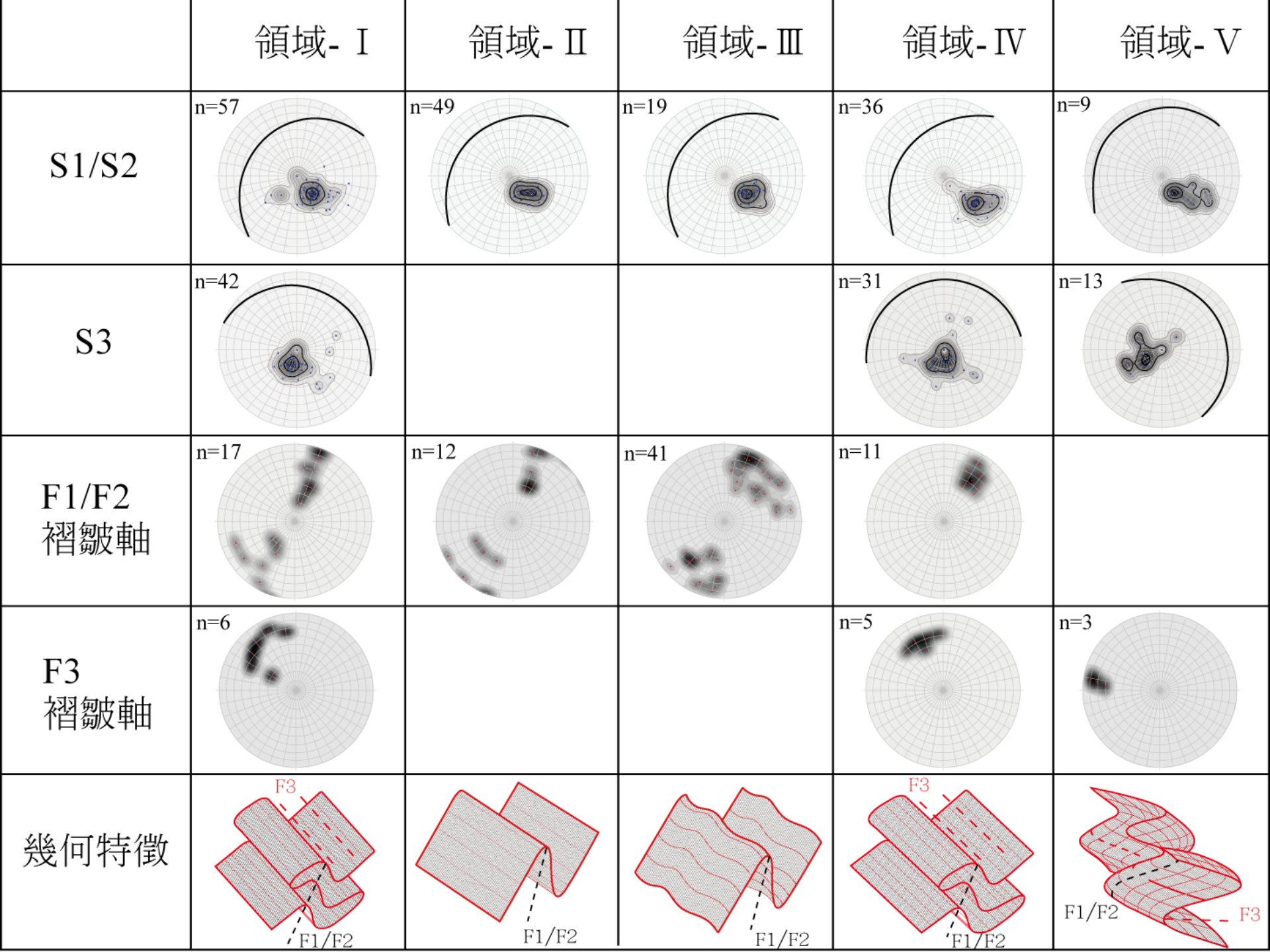
萬榮地區的地質構造分析結果



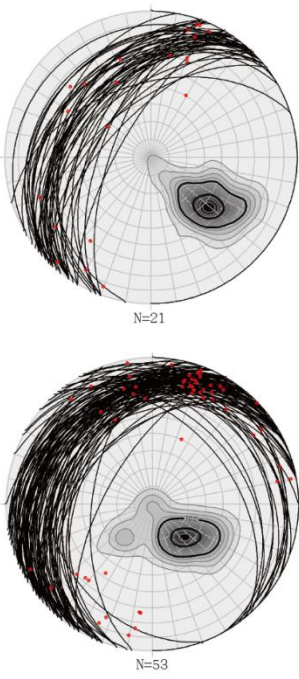
何恭睿，2015



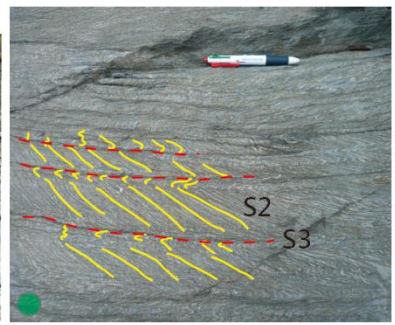
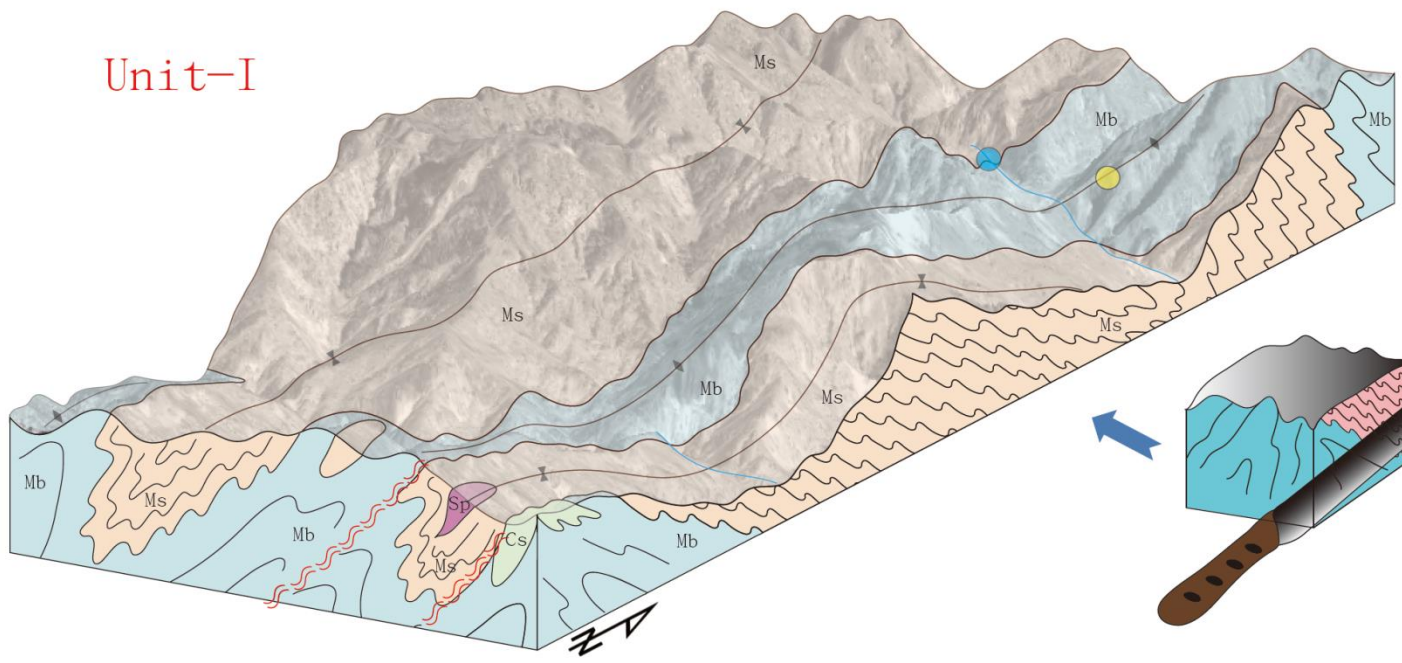
- (a)和(b)為第一型和第三型褶皺干涉圖像，出露於大理岩和片岩的邊界中；(c)出露於大檜溪與壽豐溪的連續褶皺剖面，伴隨一組發育良好的NE走向S2葉理面；(d)高度變形之韌性剪切帶，主要剪切面平行S2葉理面，上盤往NE方向剪動，由於剪動構造發育強烈，無法確認位移量；(e)主要剪切面平行S3葉理面，上盤往NW方向剪動；(f)出露於恰堪溪之正斷層構造，斷層面位態較陡；(g)同樣可以觀察到兩組葉理面的褶皺構造，S2葉理面傾向東，傾角較陡；S3葉理面傾向東，傾角較緩；(h)伴隨著S3葉理面的偃臥褶皺發育於萬里橋溪下游



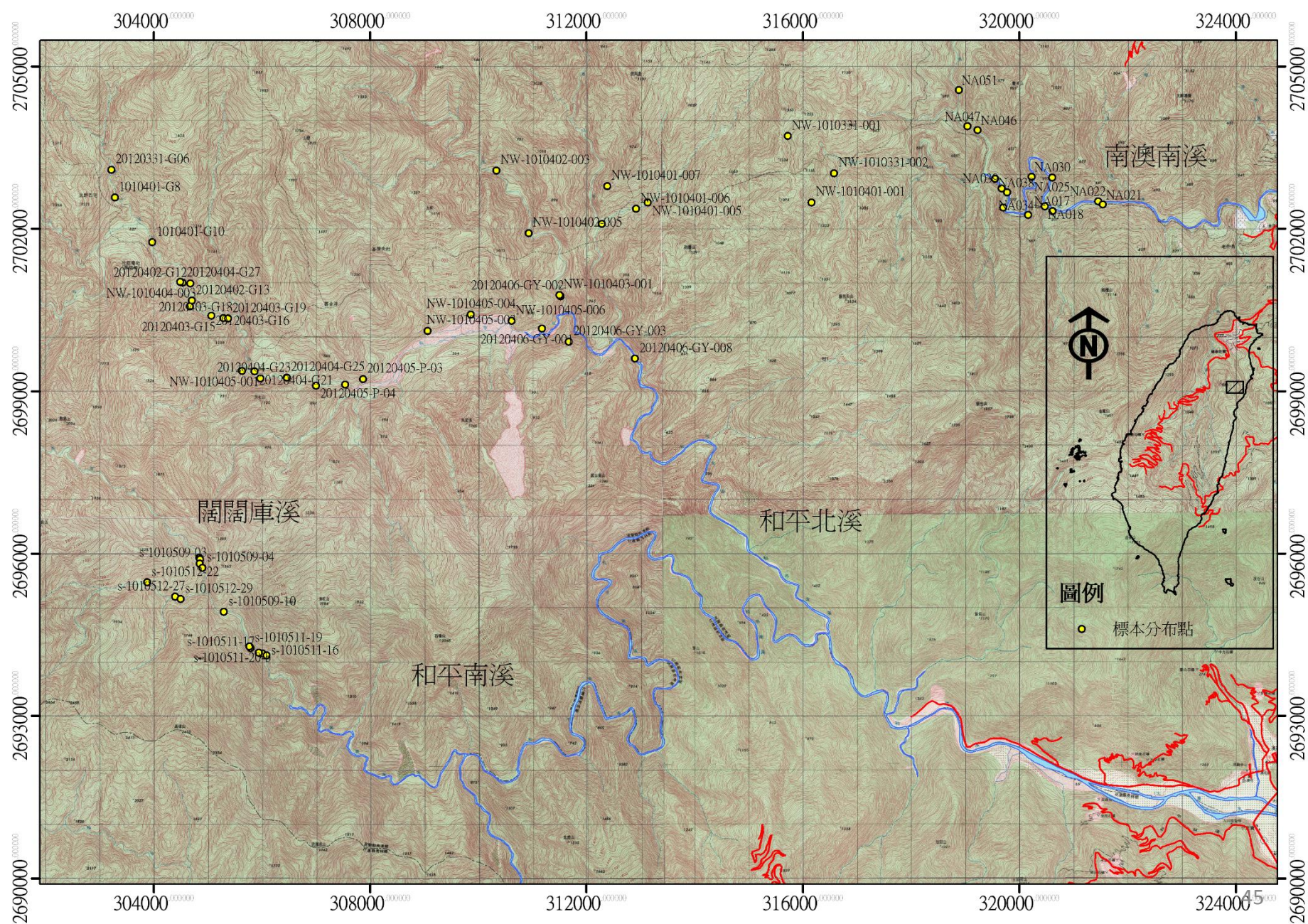
萬榮地區的岩石分布狀況與變形歷史三維圖



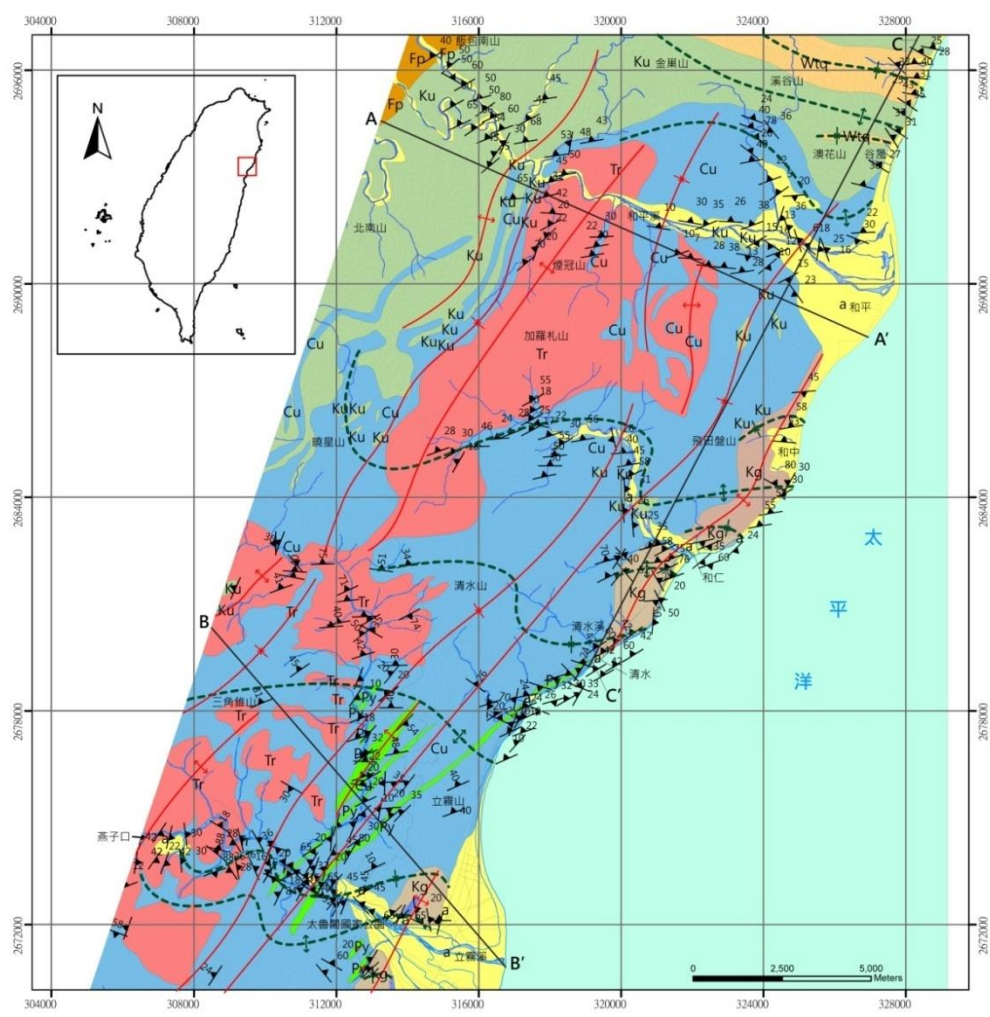
Unit-I



和平地區

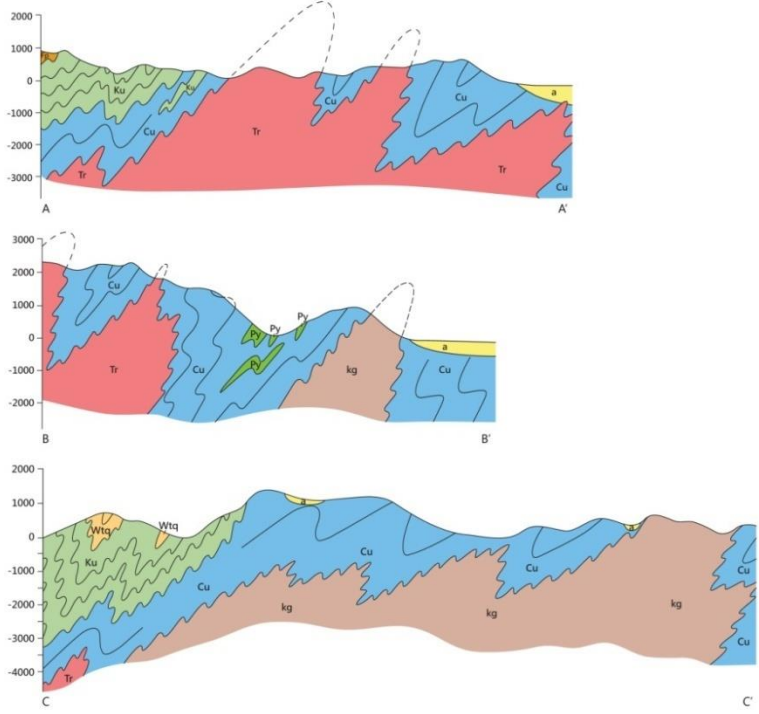


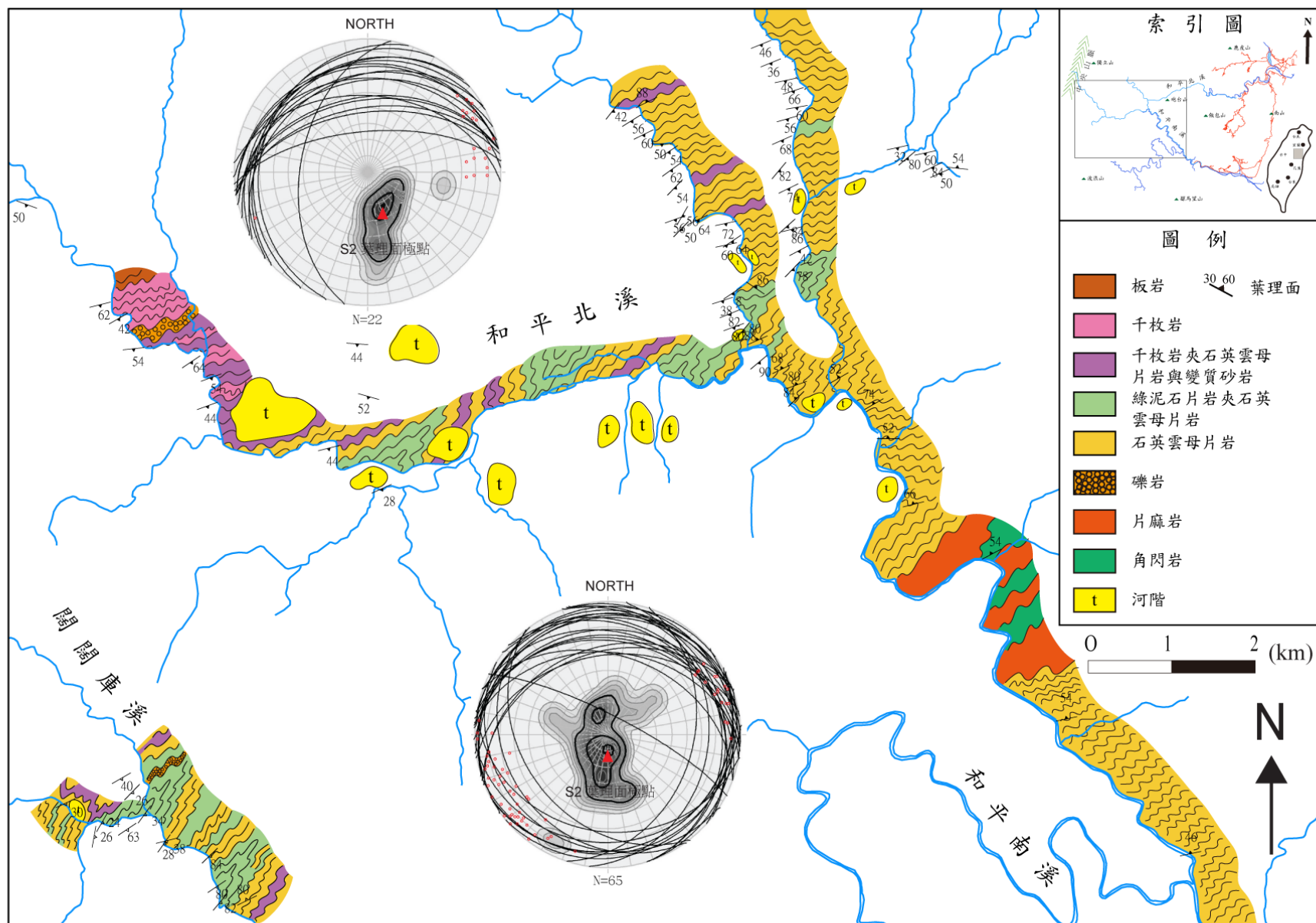
和平溪至太魯閣地區區域地質圖



圖例 LEGEND

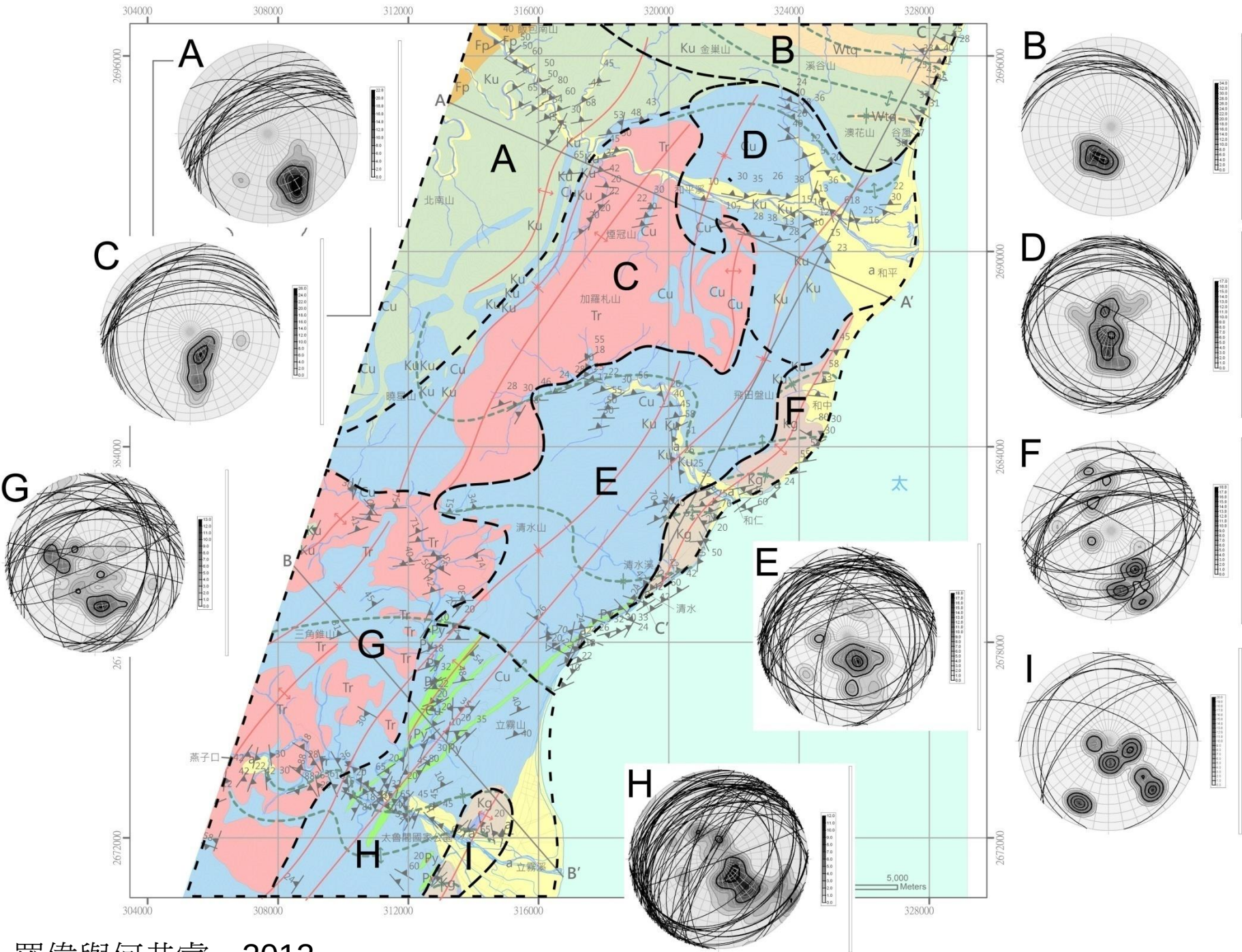
- 全新世 HOLOCENE
 - 沖積層 ALLUVIUM
 - a 礫石、砂及泥 Gravel, sand and mud
 - 晚古生代至中生代(?) LATE PALEOZOIC TO MESOZOIC
 - 武崙片岩 WUTA SCHIST
 - Wta 變質綠石層與石英片岩 Meta-chert and quartz-mica schist
 - 白堊片岩 PAIYANG SCHIST
 - Py 綠色片岩、砂質片岩、層狀大理岩 Green schist, siliceous schist, with marble interlayering
 - 谷關片岩 KUYUAN SCHIST
 - Ku 千枚岩、雲母片岩、石英雲母片岩 Phyllite, micaceous schist and quartz-schist
 - 九曲大理石 CHIUCHU MARBLE
 - Cu 層狀大理岩 Thick-layered marble
 - 飯包尖山片麻岩 FANGPOUCHIENSHAN GNEISS
 - Fp 片麻岩 Gneiss
 - 開南岡片麻岩 KANAGAN GNEISS
 - Kg 片麻岩 Gneiss
 - 得克利片麻岩 TAKKIRI GNEISS
 - Tr 片麻岩或花崗片麻岩 Gneiss or granitic gneiss
- 褶背斜軸(前一期) Axis of anticlinorium
褶向斜軸 Axis of synclinorium
褶背斜軸(前一期) Axis of anticlinorium
褶向斜軸(前一期) Axis of synclinorium
葉理位態 Attitude of Foliation
剖面位置 The locating of geologic profile





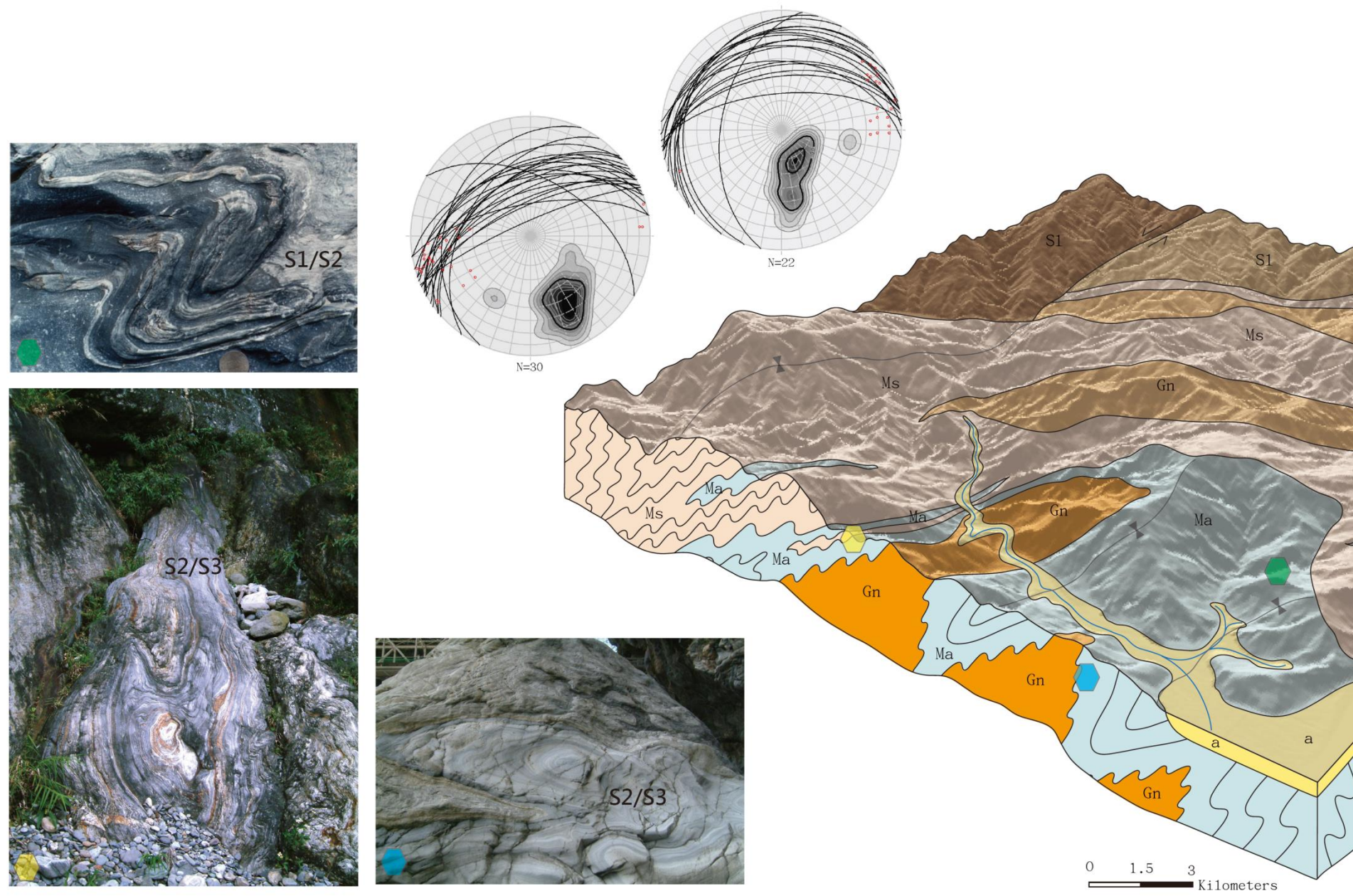


和平地區的褶皺型態
 (A)圖為九曲大理岩中的**第三型褶皺干涉圖像**，
 (B)圖為九曲大理岩與開南岡片麻岩之**第一型褶皺干涉圖像**，
 (C)圖為長春停車場下方片麻岩與大理岩穿插出露之**第一型褶皺干涉圖像**，
 (D)圖則為由海上遠望蘇花公路小清水段出露剖面，拍照方向為西南方。照片中可清楚看到**大理岩覆蓋於片麻岩之上**，並發育東西走向之褶皺構造

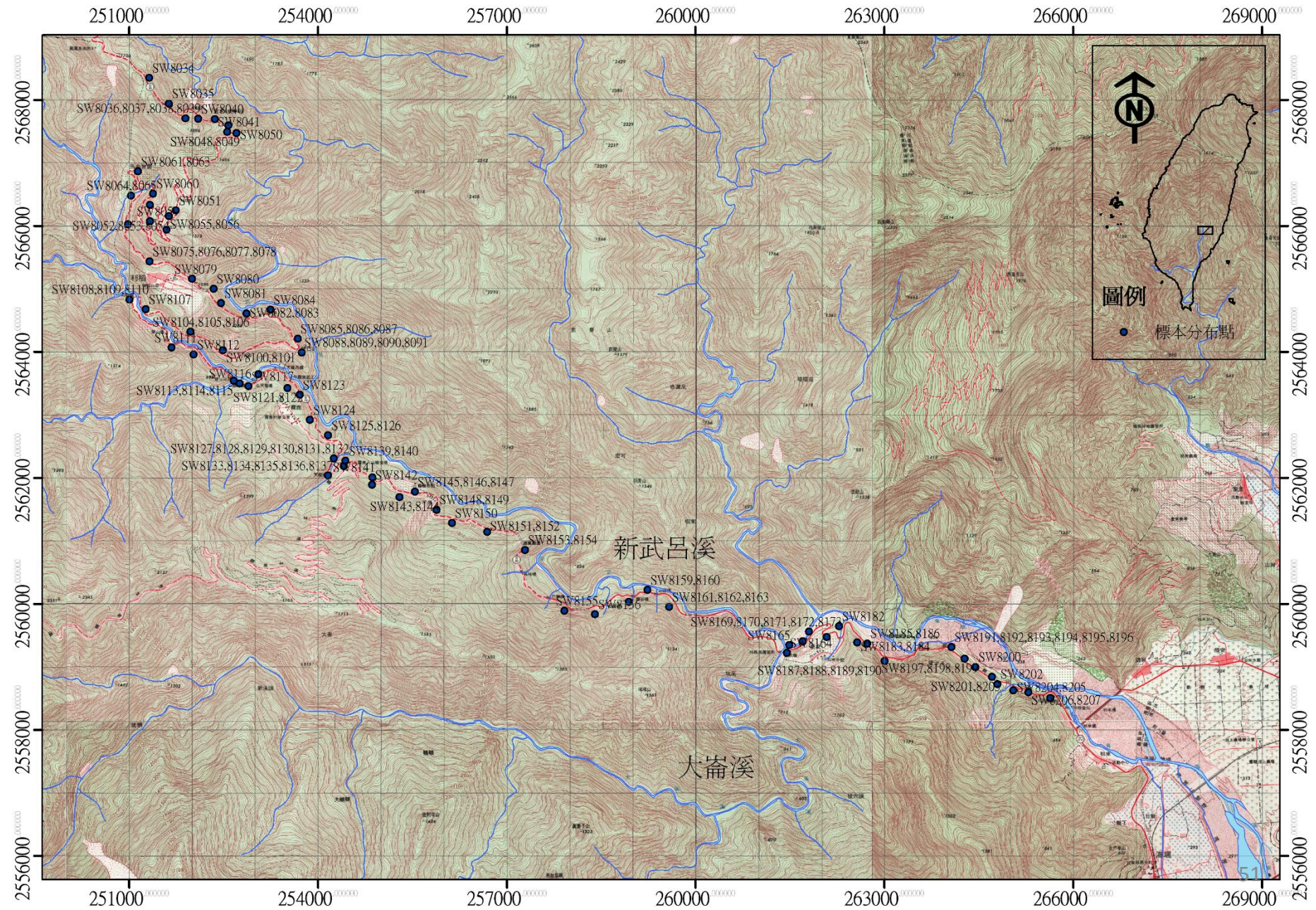


羅偉與何恭睿，2012

和平地區的岩石分布狀況與變形歷史三維圖

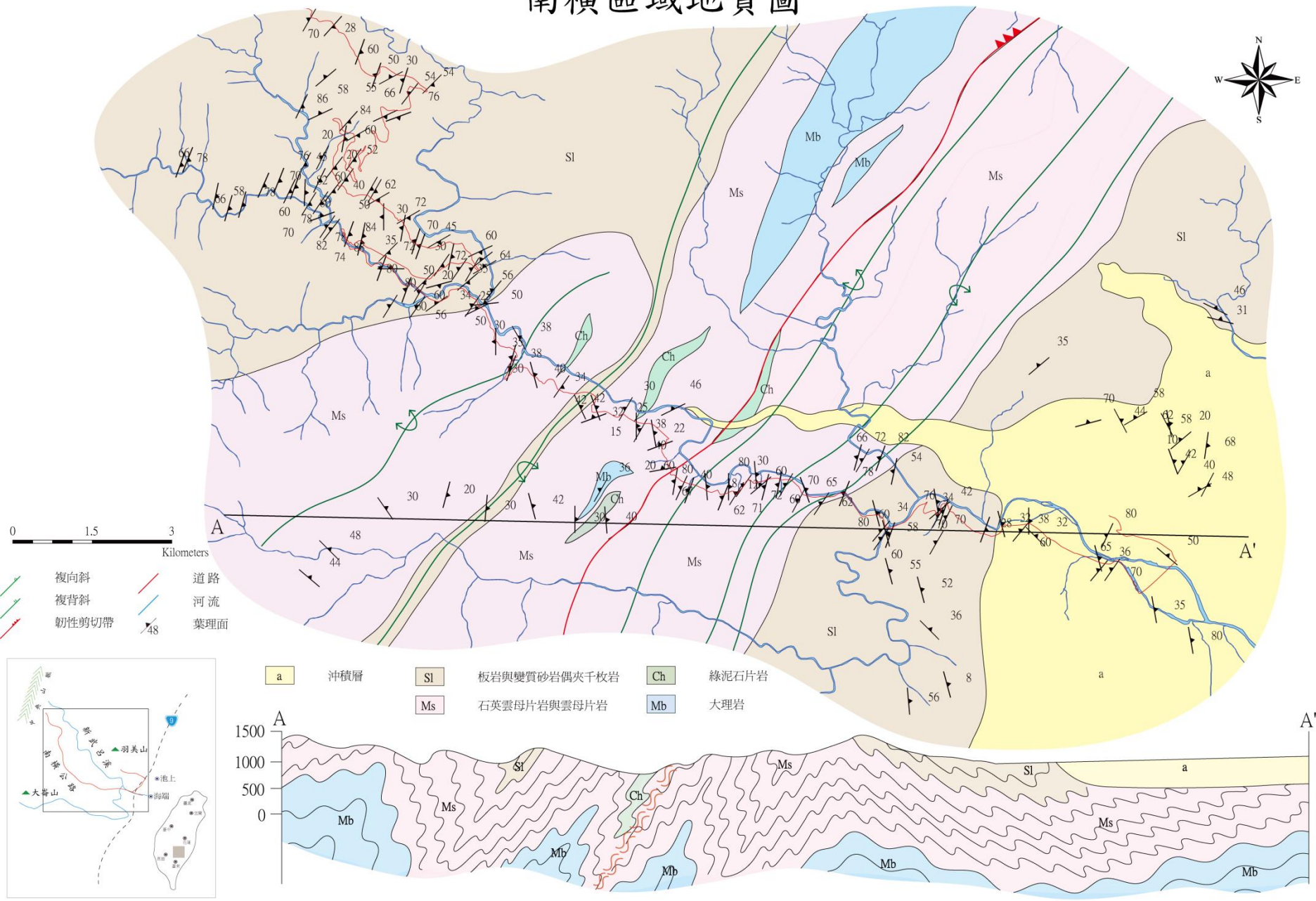


南橫地區

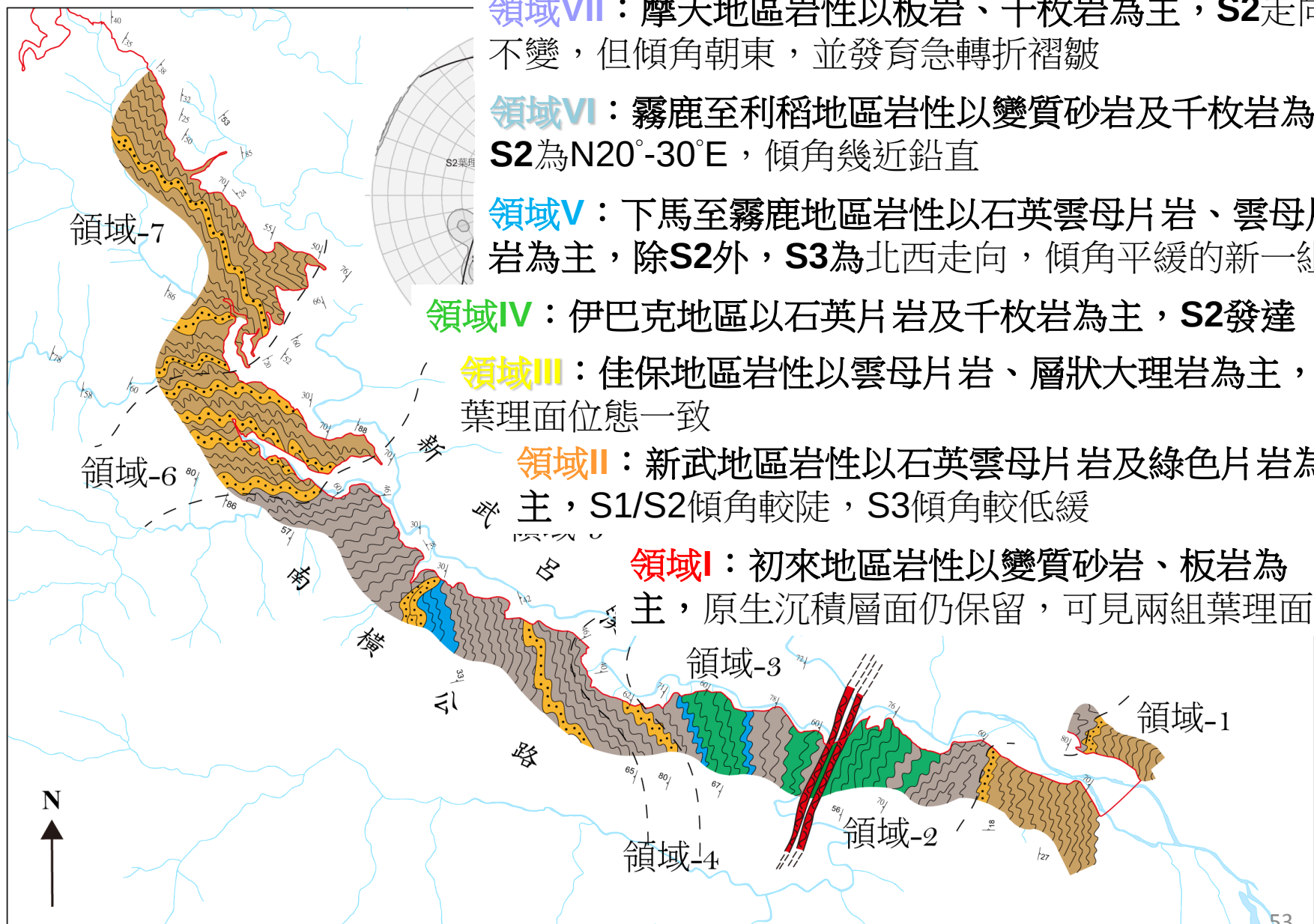


南橫地區的地質構造分析結果

南橫區域地質圖

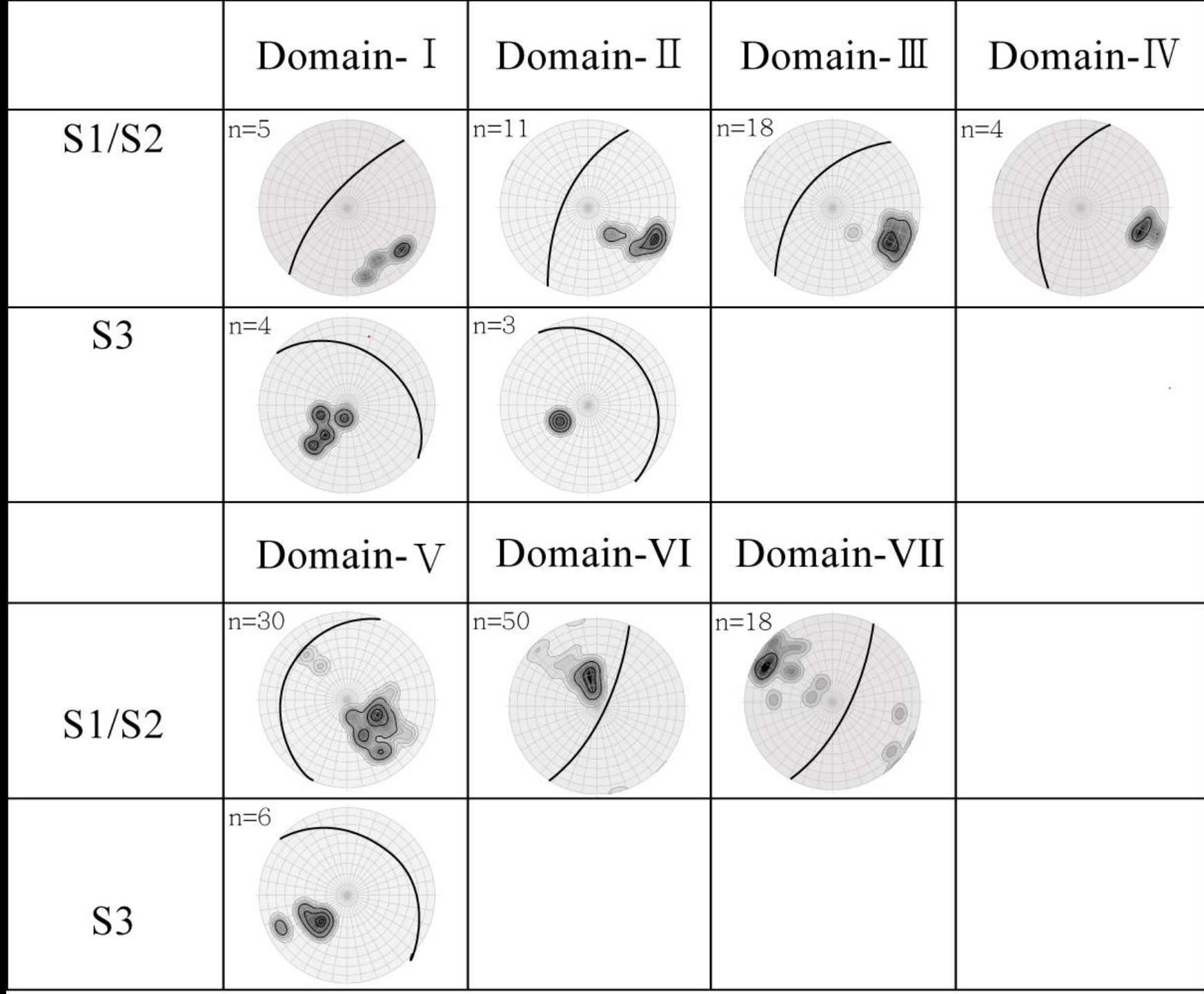


南橫地區路線地質圖

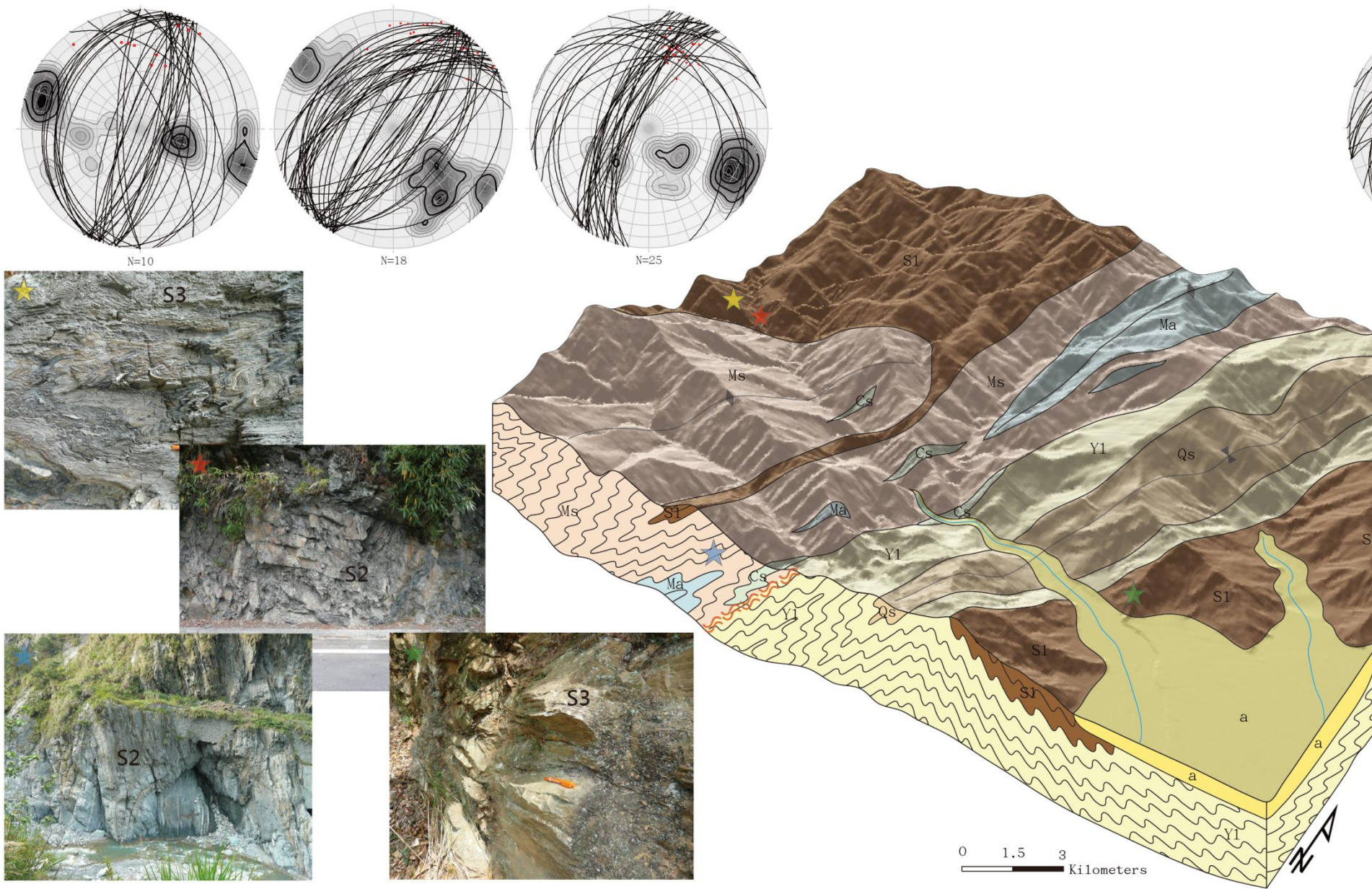




(a)出露在霧鹿地區之**緊密褶皺**，褶皺軸面 $N60^{\circ}E$ ， $42^{\circ}N$ ；褶皺軸 26° ， $N20^{\circ}E$ ；(b)利稻橋附近出露的**緊密褶皺**，岩層多以變質砂岩為主，偶夾有薄板岩；(c)變質砂岩所組成之**第三型褶皺干涉圖**像出露於下馬地區；(d)在霧鹿至利稻之間的連續褶皺剖面，波長約5公尺，振幅約2公尺；(e)利稻地區可以觀察到隱藏在中視褶皺構造一翼的小褶皺，發育一組北東走向的葉理面；(f)出露於新武呂溪下游左岸的**偃臥褶皺**；(g)出露於利稻地區薄層砂板互層與相似褶皺；(h)發育在摩天地區之厚層砂岩與**急轉褶皺**



南橫地區的岩石分布狀況與變形歷史三維圖

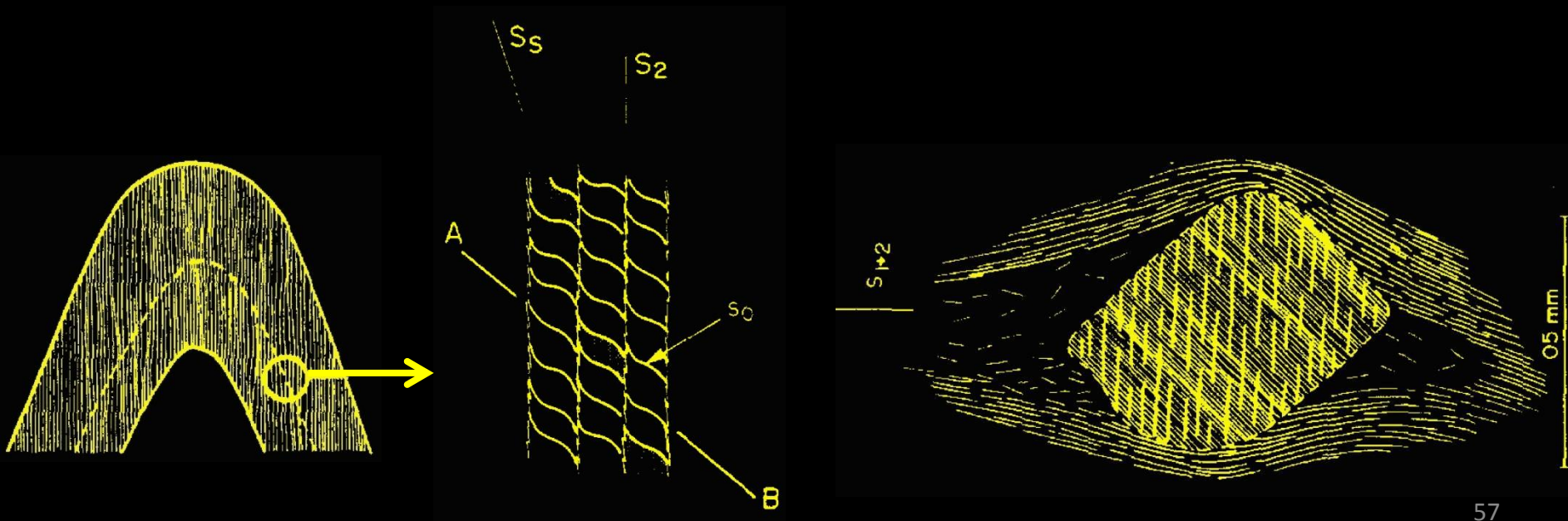


六、大南澳片岩的構造對比

在變質岩區進行構造分析的工作，必須要考慮岩層在變質與變形作用下，原始的岩石接觸關係已被發達的葉理、褶皺、移位構造等所取代，因此詳細的構造對比(structural correlation)從零星散佈的露頭觀察中找出其關連性，並延伸及檢核之。為變質岩區進行構造分析的工作不可或缺的：

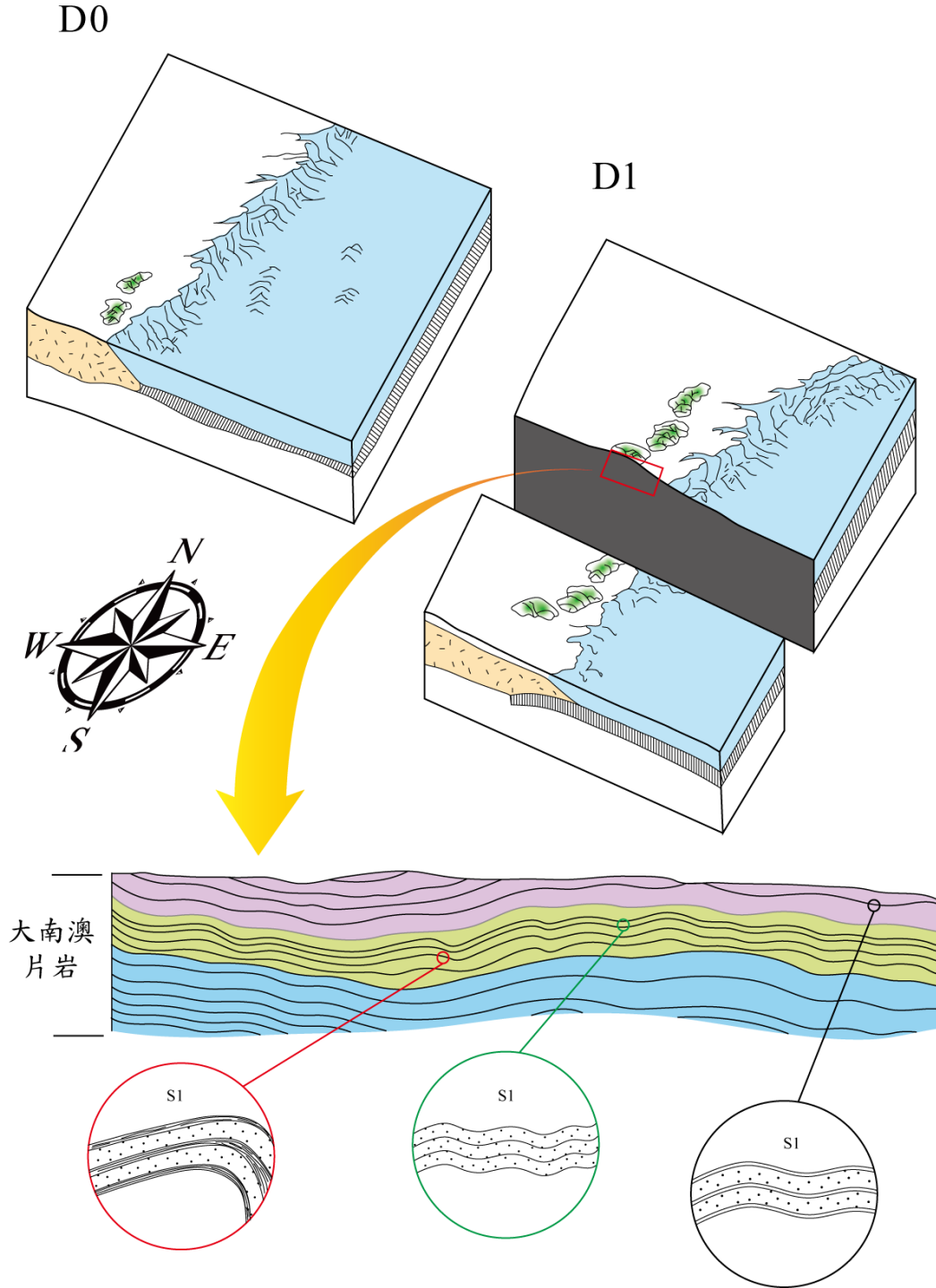
以下提出的幾個構造對比的方法：(修改自wiliams,1985)

一、褶皺構造的對比；二、組構方向性的對比；三、礦物組成的對比；四、微視構造的對比；五、葉理面的對比、六、構造基準面的對比



和平、萬榮、南橫地區的構造對比表

特性	和平地區	萬榮地區		南橫地區
		Unit-I	Unit-II	
主要岩石種類	片麻岩、大理岩、石英雲母片岩、板岩偶夾變質砂岩	大理岩、石英雲母片岩及變質燧石	雲母片岩、綠泥石片岩、蛇紋岩偶夾變質砂岩	石英雲母片岩、大理岩為主，上覆板岩與變質砂岩
葉理面 S1	僅在夾質領域中可見	僅在夾質領域中可見	僅在夾質領域中可見	僅在夾質領域中可見
S2	發育良好，發育一組穿透性良好的劈理	發達，常伴隨再結晶礦物	中等	中等
S3	發育不良	發育不良	劈理發育在岩石組構局部變形的地方，未有再結晶之礦物	劈理發育在岩石組構局部變形的地方，未有再結晶之礦物
主要褶皺型態	一系列伸向向東傾斜的F2褶皺構造，多發育等斜褶皺或開闊褶皺	一系列伸向向東傾斜的F2褶皺構造，多發育等斜褶皺或緊密褶皺	一系列伸向向西傾斜的F2褶皺構造，並發育平緩的F3偃臥褶皺、相似褶皺等	西半部為一個F2複向斜構造，東半部則為一個複F2背斜構造，並發育平緩的F3偃臥褶皺、相似褶皺等
褶皺干涉圖像	第一型、第二型、第三型	第一型、第二型、第三型	第三型	發育不良
移位構造	強烈	強烈	中等	發育不良
斷層型態	D2小斷層	D2小斷層	D3正斷層	D3正斷層
剪動構造	強烈	強烈	中等	中等
D1	殘餘組構	殘餘組構	殘餘組構	殘餘組構
D2	強烈	強烈	中等	中等
D3	發育不良	發育不良	局部可見	局部可見



約在200 個百萬年以前，台灣島仍不存在，當時的台灣地區是一片淺海並位於中國東南大陸的邊緣上，屬於一被動式大陸邊緣（D0）。

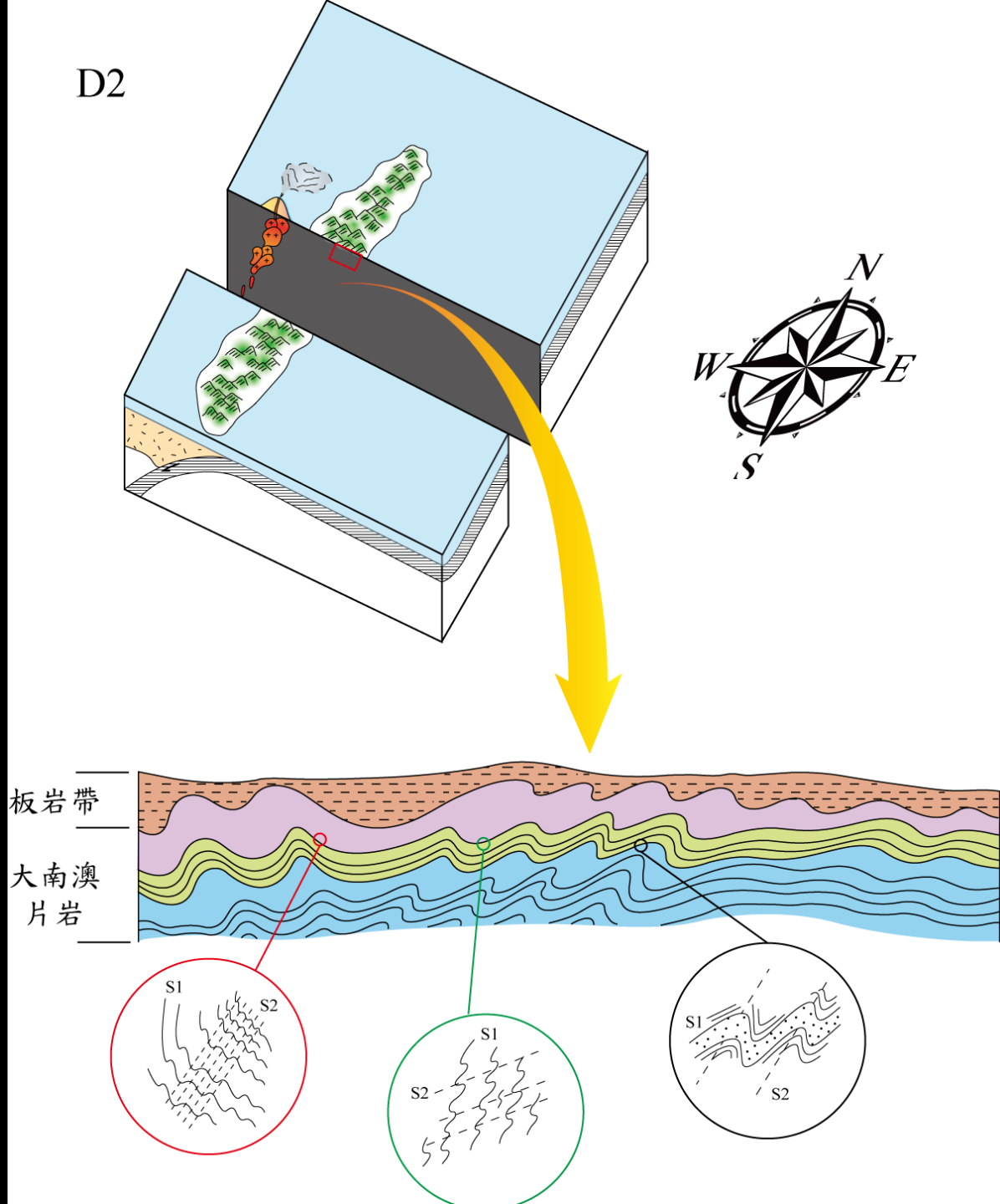
當時的菲律賓海板塊仍在太平洋上，不斷的向西前進，島弧逐漸向大陸邊緣靠近，原來的被動式大陸邊緣轉為活動性大陸邊緣，大量的沈積物形成增積岩體，並隨著板塊的隱沒作用變質與變形，此時形成的變質作用為第一次變形（D1）。

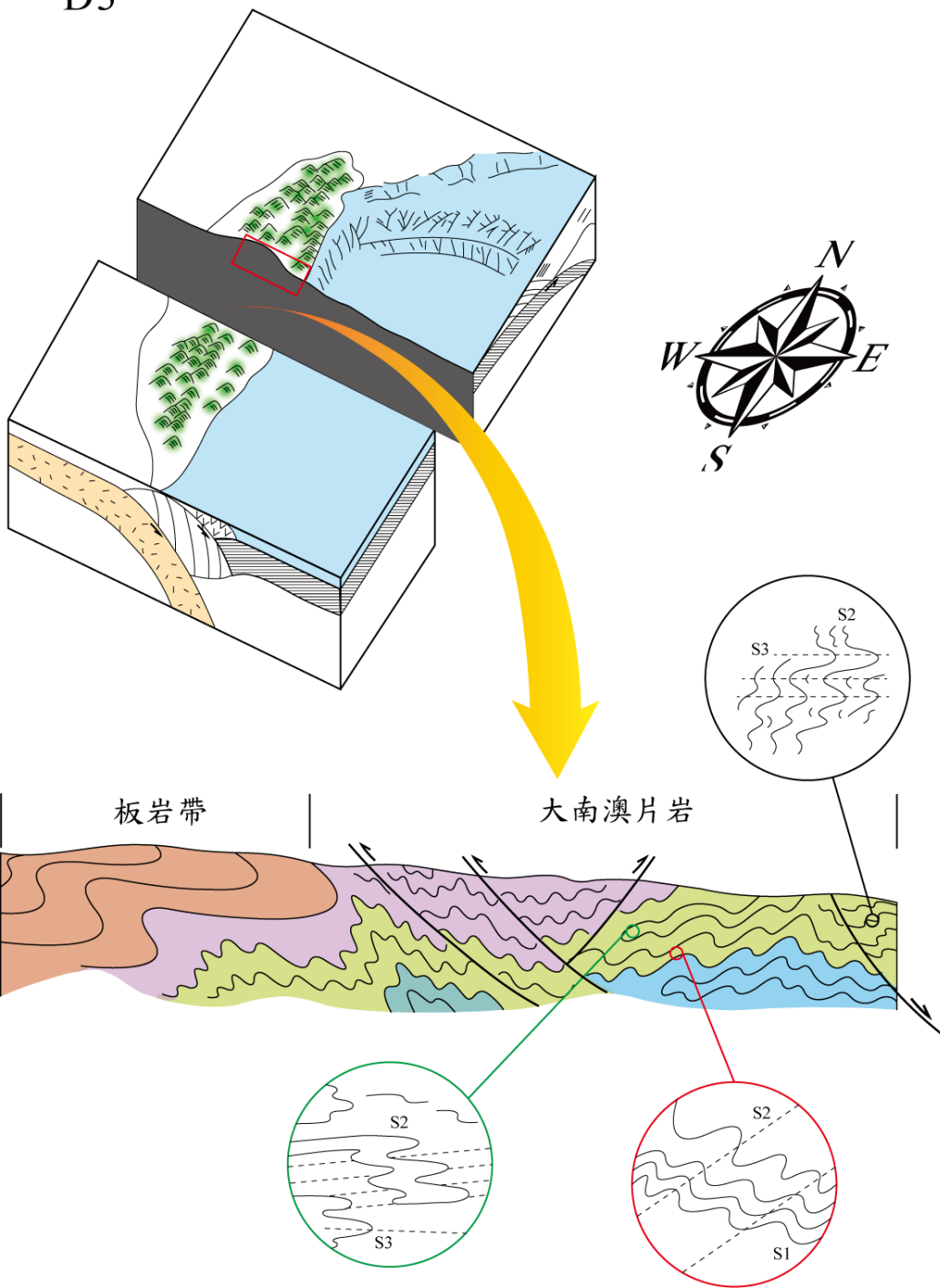
第一次的變形造成岩層略有彎曲現象，伴隨著一些振幅不大的中視褶皺構造，並發育第一組葉理面S1。

這一個增積岩體變形更加劇烈，這一次的變形作用最廣泛，也造成了第二次的變形（D2）。

岩層受到後期碰撞後變形量越來越高，幾乎可以在整個大南澳片岩區中發現，中視構造可見各種不對稱或緊密的褶皺，S2 則為其軸面劈理，並發育第一型與第二型的褶皺干涉圖像。

原始的S1 已遭變形破壞，除此之外，大南澳片岩上覆一層沈積物，相當於現今的板岩層。





隨著板塊不斷西移與碰撞，持續的造山作用影響下，原本處於壓縮環境的岩體，隨著山脈的抬升作用逐漸抬升到地表變成伸張環境，而東側的山脈失去了碰撞的支撐則開始垮塌下沉，又發生了一次的變形（D3）。

垂直地表的應力產生了正斷層、韌性剪切帶以及位態較為平緩的葉理面（S3）等，疊加的褶皺發育第三型褶皺干涉圖像，並可以在大南澳片岩的東緣普遍觀察得到。

這樣山脈垮塌的變形伴隨著持續增加的山脈抬升作用與剝蝕現象，使得越早碰撞的北部地區越先抬升，依序從和平、萬榮到南橫地區

七、結論

萬榮地區可依岩性及構造上的差異分為西半部Unit- I 與東半部Unit- II，關於岩性上的特徵，Unit- I 多以很高的比例反覆出現大理岩、石英雲母片岩及燧石等等岩體；而Unit- II則以顏色較深且碳含量較高的雲母片岩為主。從構造分析上來看，Unit- I 為一系列伸向向東傾斜的褶皺構造，多發育等斜且緊密的褶皺，波長較大，在數十公分至三公尺間；Unit- II則為一系列伸向向西傾斜的褶皺構造，多發育平緩的偃臥褶皺、相似褶皺等，波長從五公分至數十公分不等。

和平地區在岩性上的特徵多以厚層的大理岩與片麻岩為主，上覆石英雲母片岩等。從構造分析上來看，本區域褶皺的型態為一系列伸向向東傾斜的褶皺構造，多發育等斜褶皺或開闊褶皺。

南橫地區在岩性上的特徵多以石英雲母片岩為主，上覆板岩與變質砂岩等。從構造分析上來看，本區域褶皺的型態西半部為一個複向斜構造，東半部則為一個複背斜構造，中視尺度則以等斜褶皺、緊密褶皺與相似褶皺為主。

經過一系列的地質圖、地質剖面圖、葉理面位態分布特性與微視構造分析結果等等發現，大南澳片岩的變形與變質歷史從和平地區開始，和平地區可能是最早產生碰撞的地區，因此發育較多個階段的組構。萬榮次之，南橫地區則為最晚碰撞的結果。



Thank You

