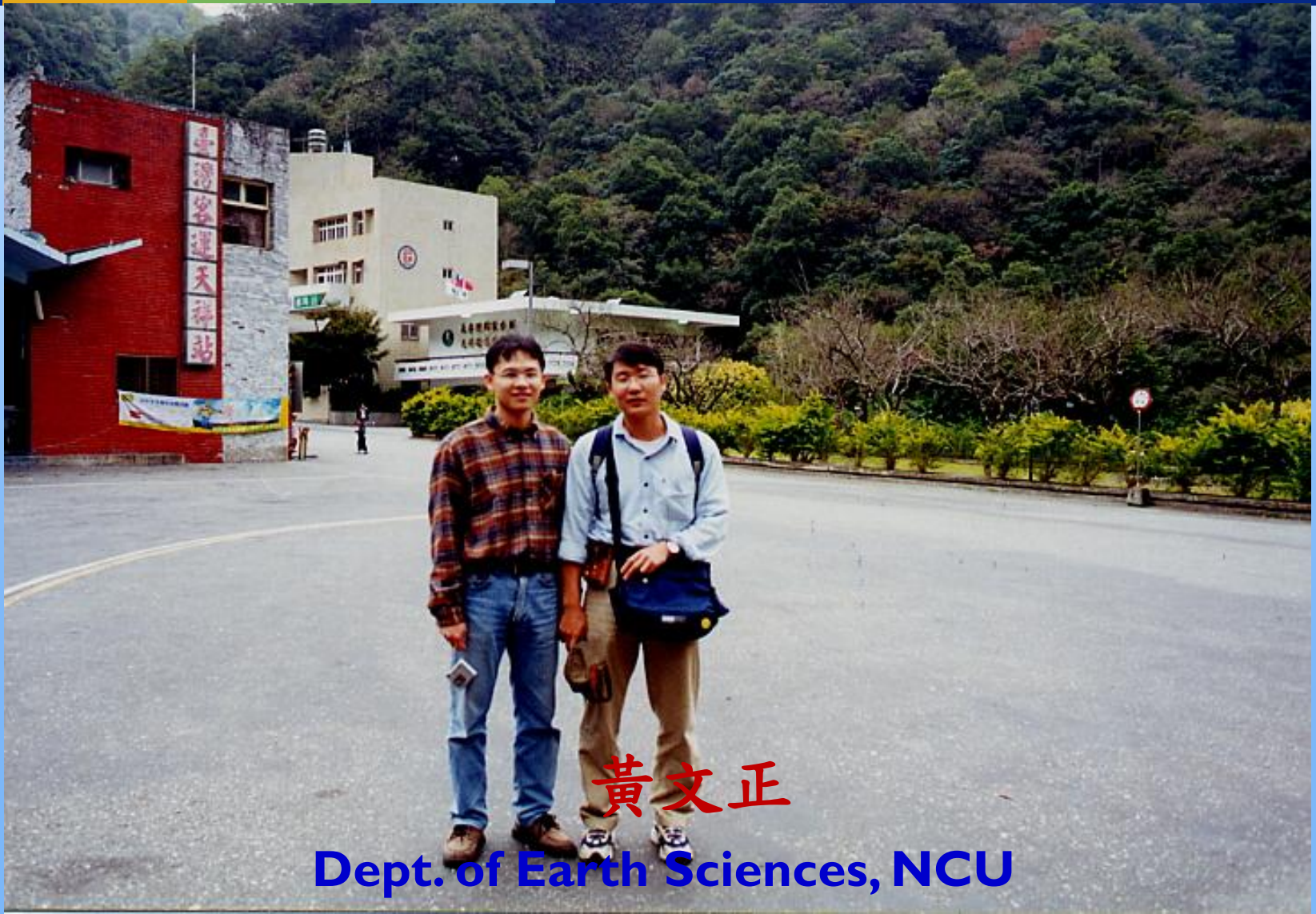


台灣的變質岩及變質作用



黃文正

Dept. of Earth Sciences, NCU

大綱

- 導論
- 台灣變質岩區之分布與變質岩
- 台灣變質岩的岩類及其特徵
- 台灣變質作用的演進過程

導論

變質作用

一、何謂變質作用

原來已經存在地殼裡的岩石，因為外界的溫度、壓力或化學環境發生改變而使之變成另一種岩石的過程我們稱它為變質作用，生成的岩石就是變質岩，此時它的礦物成分、岩理及結構已和原岩不同，這是要和新環境達成平衡。要注意的是，變質作用僅限於岩石在**固態下**所發生的變化，若達到融化狀態已屬於火成活動，所以導致地下岩石發生變質的最低溫度當在深埋變質發生以上的溫度，大約是在 $150^{\circ}\sim 350^{\circ}$ 之間，變質作用所發生的最高溫度多在 800°C 左右，即低於岩石融熔的溫度。



trass volcanic ash;
cinerite; tephros; tephra



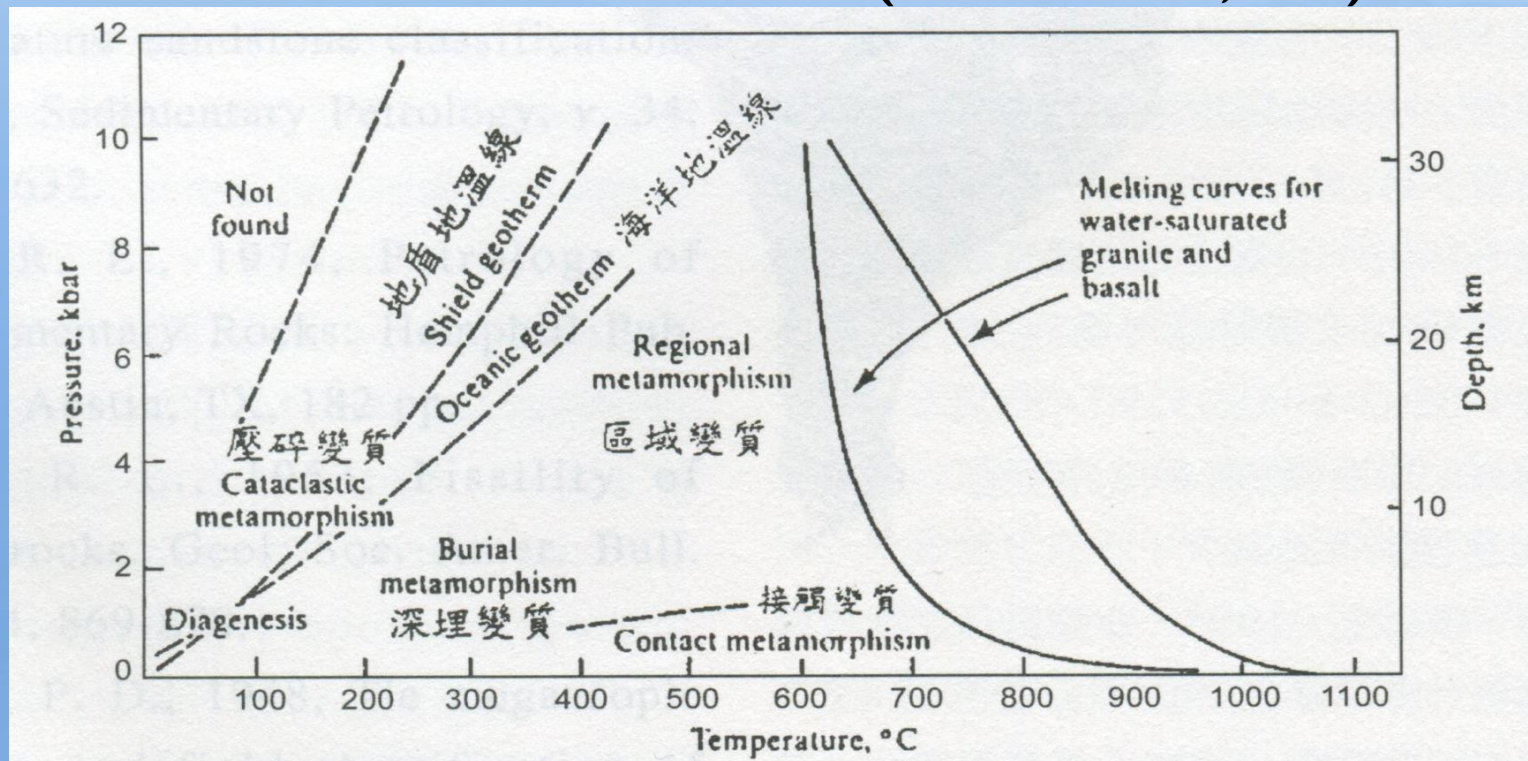
變質作用



二、變質作用的種類：

一般變質作用包括岩石的變形或礦物成分由再結晶而造成新礦物的轉變，前者是指岩石及其顆粒受壓力變形或壓碎破裂或發生再排列而改變岩石的岩理（如壓碎作用與糜稜岩化作用）。

各主要類型變質作用之溫度壓力的關係(Ehlers & Blatt, 1982)



若再依規模大小與其變質的一般溫度 - 壓力作用的範圍。可分為：

1、區域變質作用 (regional metamorphism)

規模可延伸數百至數十平方公里，多發生在褶皺山脈及造山帶中，台灣地區受此變質影響最大。

2、接觸變質作用 (contact metamorphism)

規模數公分至數公里，發生在火成岩和圍岩間的接觸變質圈。

3、壓碎或動力變質作用 (cataclastic or dynamic metamorphism)

分佈範圍最小的變質作用。岩石以機械變質為主，多發生在地下淺處的斷層帶和強烈褶皺帶中。在深處（如十公里以下）則常出現韌性變質現象（Ductile deformation）。

4、深埋變質作用 (burial metamorphism)

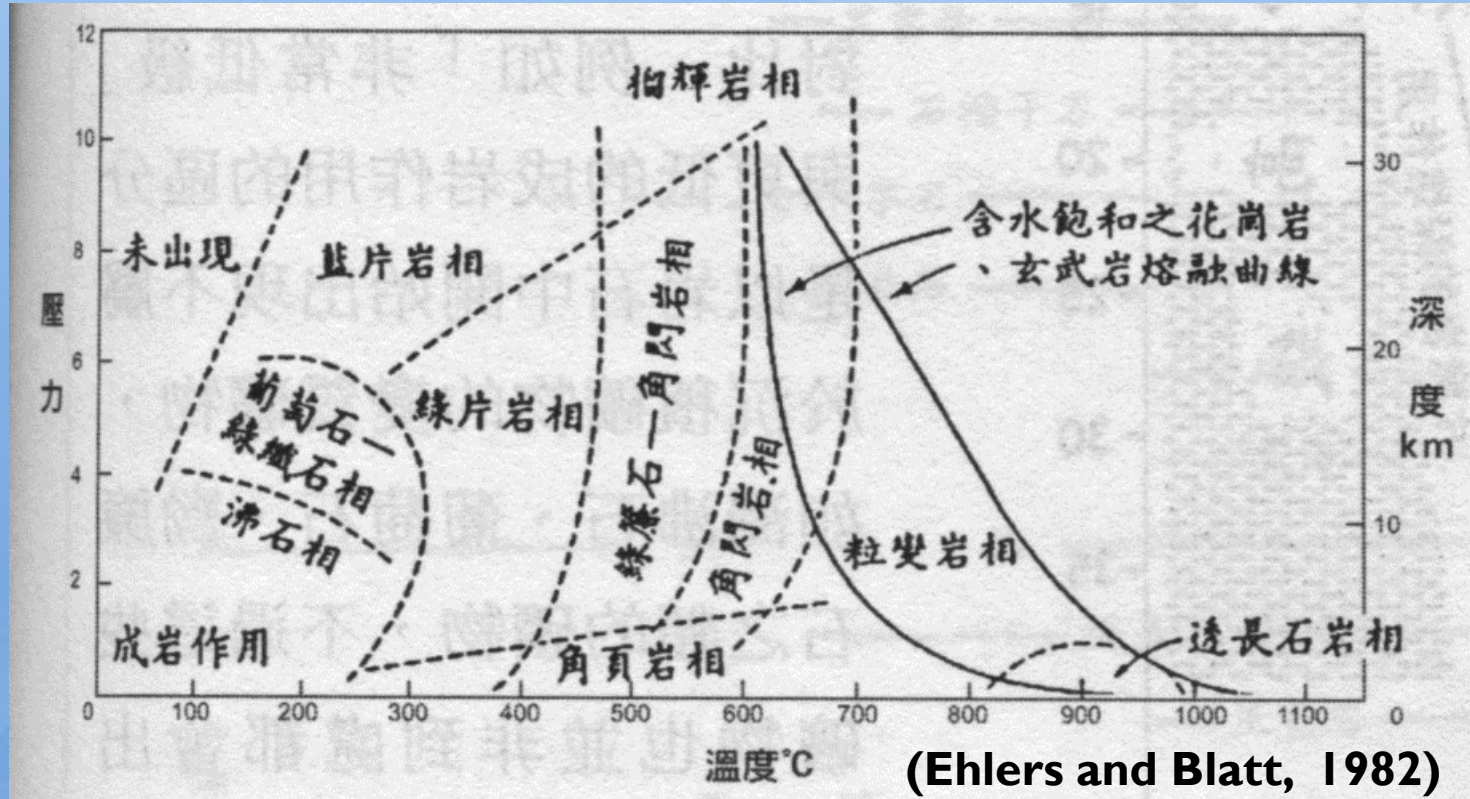
岩層深埋在沉積盆地內數千公尺之下，受上層荷重壓力和地溫之作用發生極輕度之變質，部分礦物尤其是黏土礦物種類的轉變（例如由蒙脫石變成伊萊石），但結構多不變，在台灣頗常見。

變質相、變質度與變質帶

一、變質相 (metamorphic facies)

- 利用礦物組合的特徵來區分變質作用的溫壓環境的概念稱為變質相。
- 其定義是任何岩石在一定溫度與壓力下的變質作用中，在達到化學平衡時所產生的變質岩，其所含的礦物群是決定於原來岩石的化學成份。
- 即在同溫同壓同一變質相內，不同的岩石成份可以產生不同的變質礦物。

變質相之區分與名稱及其溫度與壓力的關係



- 變質礦物方面，Zwart等人(1967)將變質礦物分為特徵礦物、違禁礦物（不該出現的礦物）與常見礦物三類。
- 推定變質相以礦物群為依據可能比利用單一礦物的錯誤少。
- 所謂特徵礦物是否必定出現，也要看母岩的種類而異。

各變質相與相群之劃分及其礦物成份

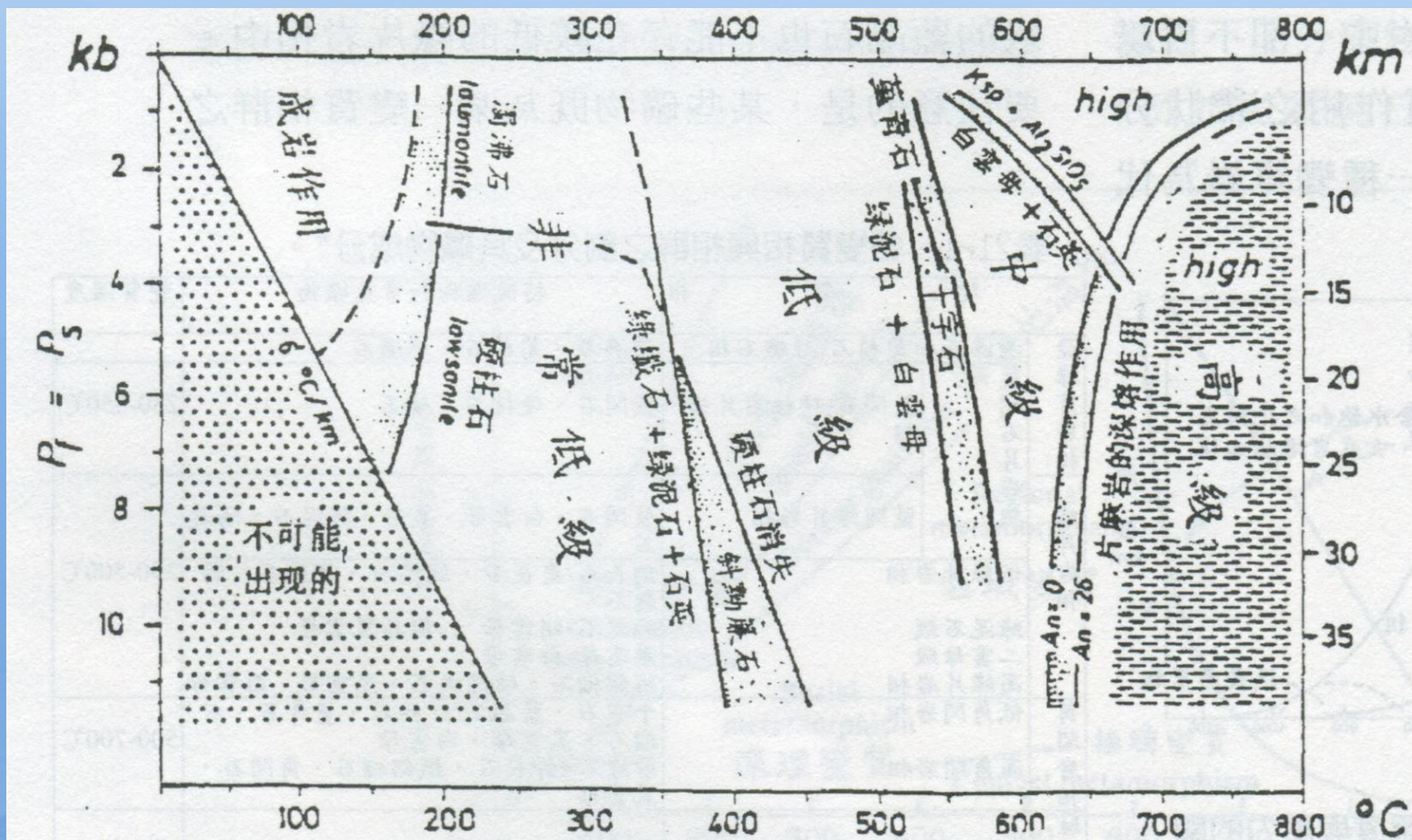
變 質 相		特徵礦物和常見礦物	變質溫度
亞綠片岩相	濁沸石和葡萄石-綠纖石相	濁沸石、葡萄石、綠纖石	250-350°C
	藍閃石片岩相	藍閃石-硬柱石片岩相	
綠片岩相	藍閃綠片岩相	藍閃石、白雲母、簾石、綠泥石、陽起石	350-500°C
	低綠片岩相	鈉長石/更長石、綠泥石、綠簾石、陽起石	
	綠泥石級 二雲母級 高綠片岩相	綠泥石-絹雲母 ± 雜晶黑雲母 黑雲母-白雲母 鐵鋁榴石、硬綠泥石、黑雲母、白雲母	
角閃岩相	低角閃岩相	十字石、藍晶石/紅柱石、堇青石、石榴石、黑雲母、白雲母	500-700°C
	高角閃岩相	矽線石+鉀長石、鐵鋁榴石、角閃石、黑雲母	
麻粒岩相	麻粒岩相（粒變岩相）	紫蘇輝石、單斜輝石、鐵鋁榴石 ± 棕色角閃石 ± 黑雲母	>700°C

(取自董申保等,1986)

二、變質度 (metamorphic grade)

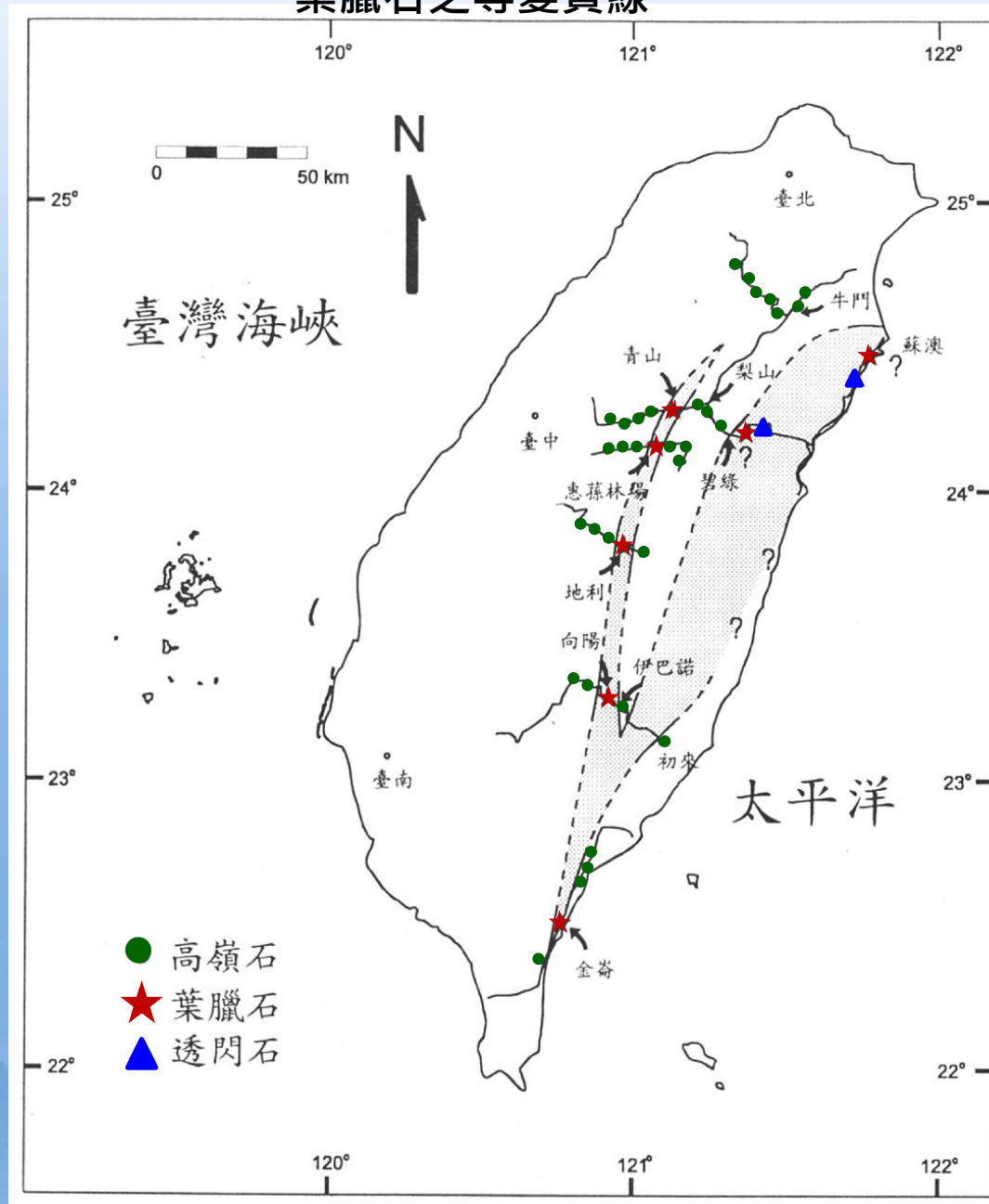
變質程度或等級簡稱變質度，這個名詞是用以區別不同地區發生變質作用的相對強度。

Winkler(1979)將泥質岩變質度分為四級。附註 (壓力符號： p_l =岩石靜壓， $p_5=5$ 千巴， H_2O =水壓(汽壓)， p_s =水壓)



葉臘石之等變質線

等變質線(isograd): 即為在地質圖上將各變質度相同的地點連接起來的曲線。可以作為不同變質帶的界線。



高嶺石(kaolinite)
葉臘石(pyrophyllite)
透閃石(Tremolite)

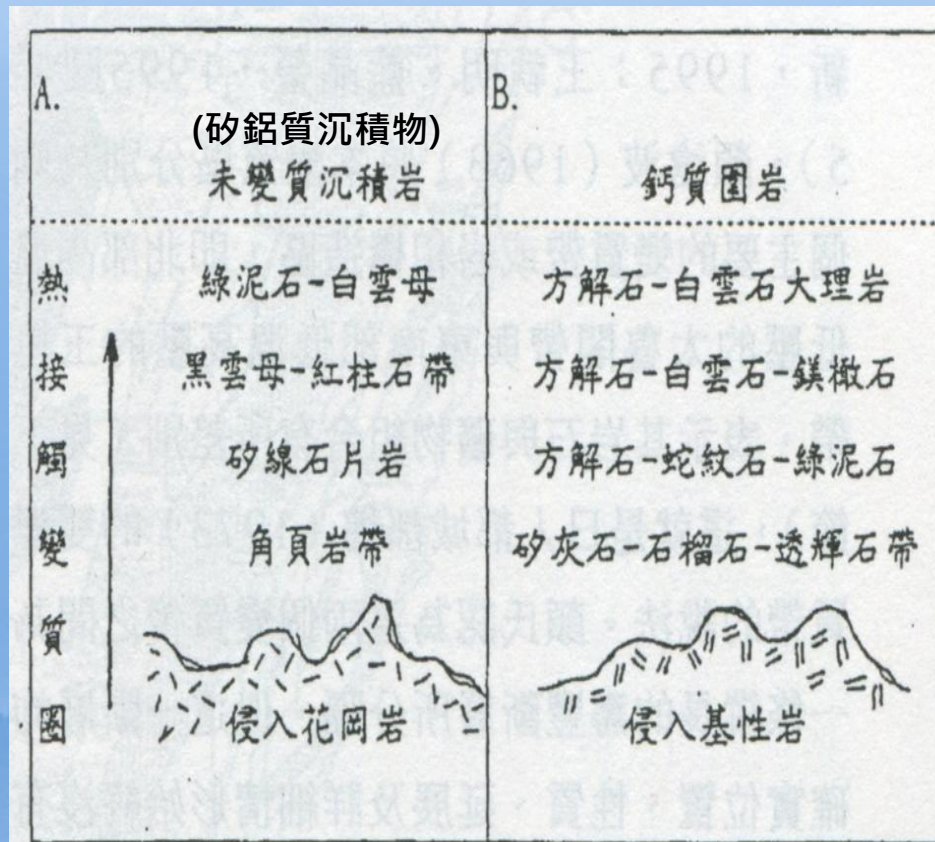
三、變質帶 (metamorphic zone or belt or terrain)

- 在區域變質區中為分別其變質作用或變質度遞變的次序和範圍時，將具有同樣變質度或變質相的岩石的分布區或其延伸地帶劃為一變質帶。
- 變質帶的建立可由野外調查或岩樣標本的認識其礦物或岩石組織的特徵而區分。
- 變質帶的分布並非到處一致，會因不同母岩或不同的變質作用而有所變化。

變質泥岩之礦物成分隨區域變質之強度而遞變。

成岩作用	低級	中級	高級
	綠片岩相	角閃岩相	輝石粒變岩相
	——綠泥石——	——黑雲母——	——矽線石——
	——絹雲母(白雲母為主)——	——石榴子石——	——矽灰石——
		——十字石——	
		——藍晶石——	
			——正長石——
			——斜長石——
			——石英——

接觸變質圈礦物帶成分變化之舉例。

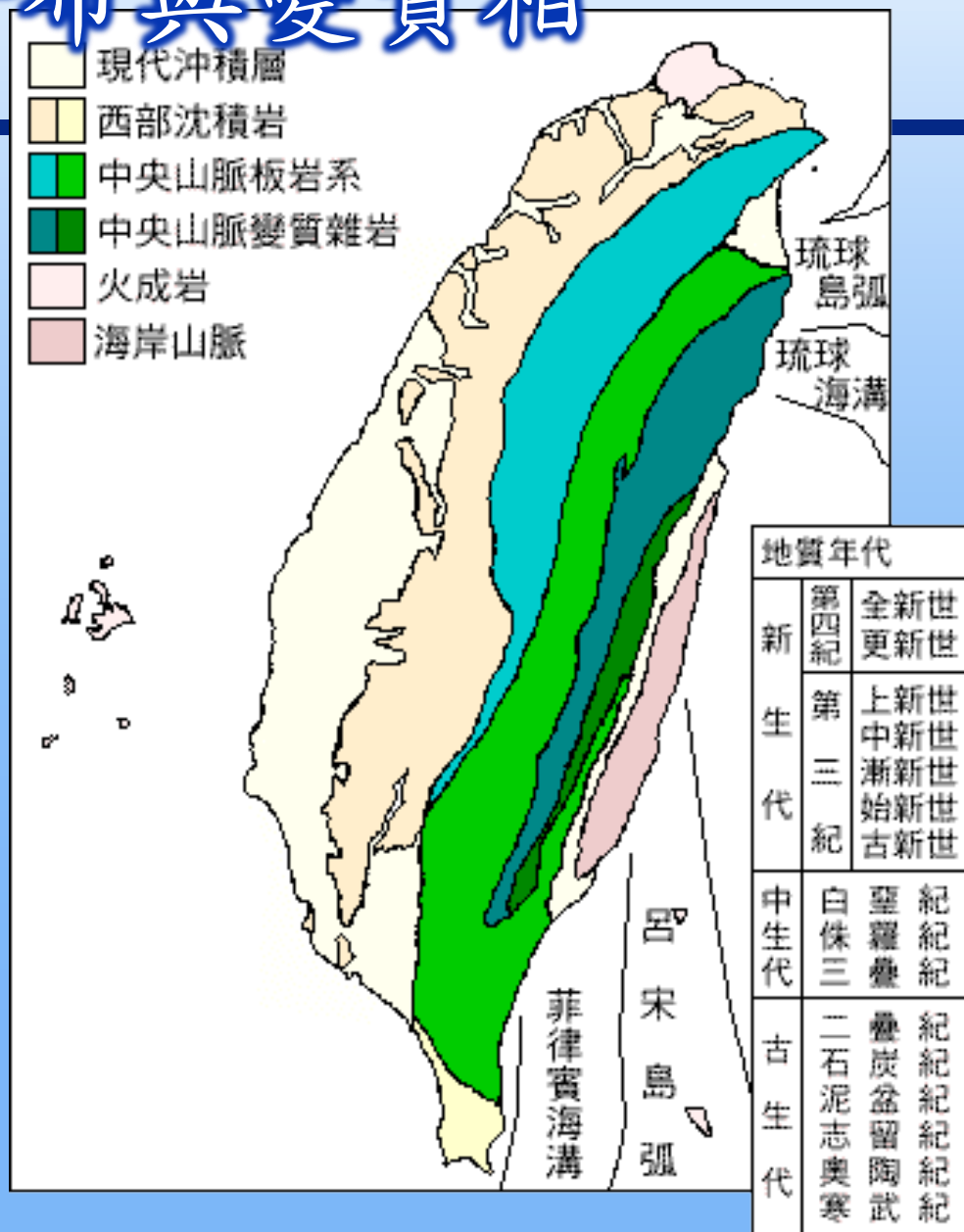


台灣變質岩區之分布與變質相







台灣變質岩區之劃分

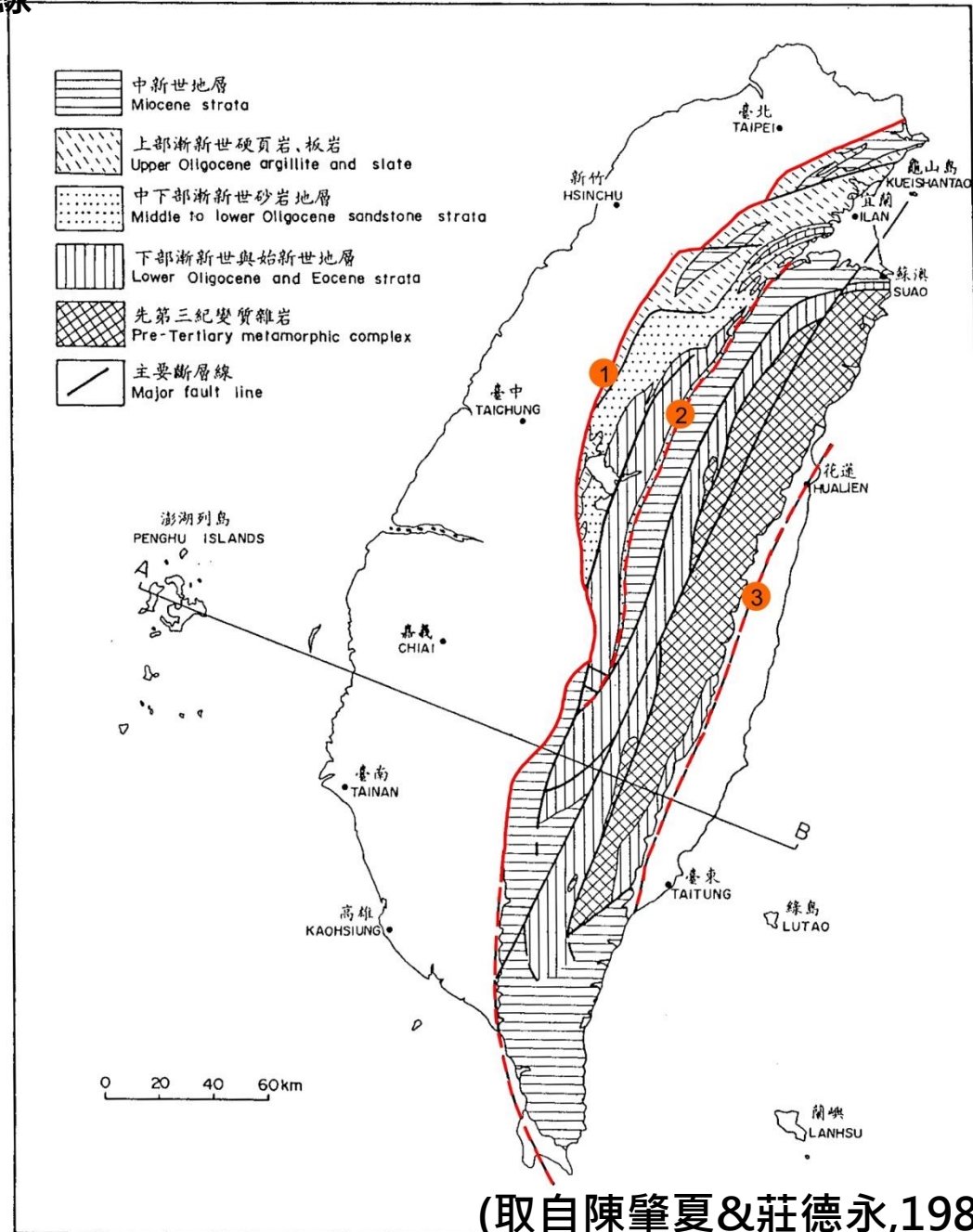
台灣變質岩出露面積甚廣，幾占全島面積之半，大體上西以屈尺斷層及其他相當之斷層現為界，東及花東縱古。依地理位置與變質度之高低，可劃分為三地區：

- 一、脊樑山脈東斜面
- 二、脊樑山脈西斜面
- 三、雪山山脈區



雪山山脈與中央山脈地質略圖

-  中新世地層
Miocene strata
-  上部漸新世硬頁岩、板岩
Upper Oligocene argillite and slate
-  中下部漸新世砂岩地層
Middle to lower Oligocene sandstone strata
-  下部漸新世與始新世地層
Lower Oligocene and Eocene strata
-  先第三紀變質雜岩
Pre-Tertiary metamorphic complex
-  主要斷層線
Major fault line



(取自陳肇夏&莊德永,1989)

中央山脈地質區與雪山山脈地質區的界線

西部麓山地質區

- 1 北：屈尺斷層
- 中：水長流斷層
- 南：荖濃溪或潮州斷層

雪山山脈地質區

- 2 梨山斷層(?)

中央山脈地質區

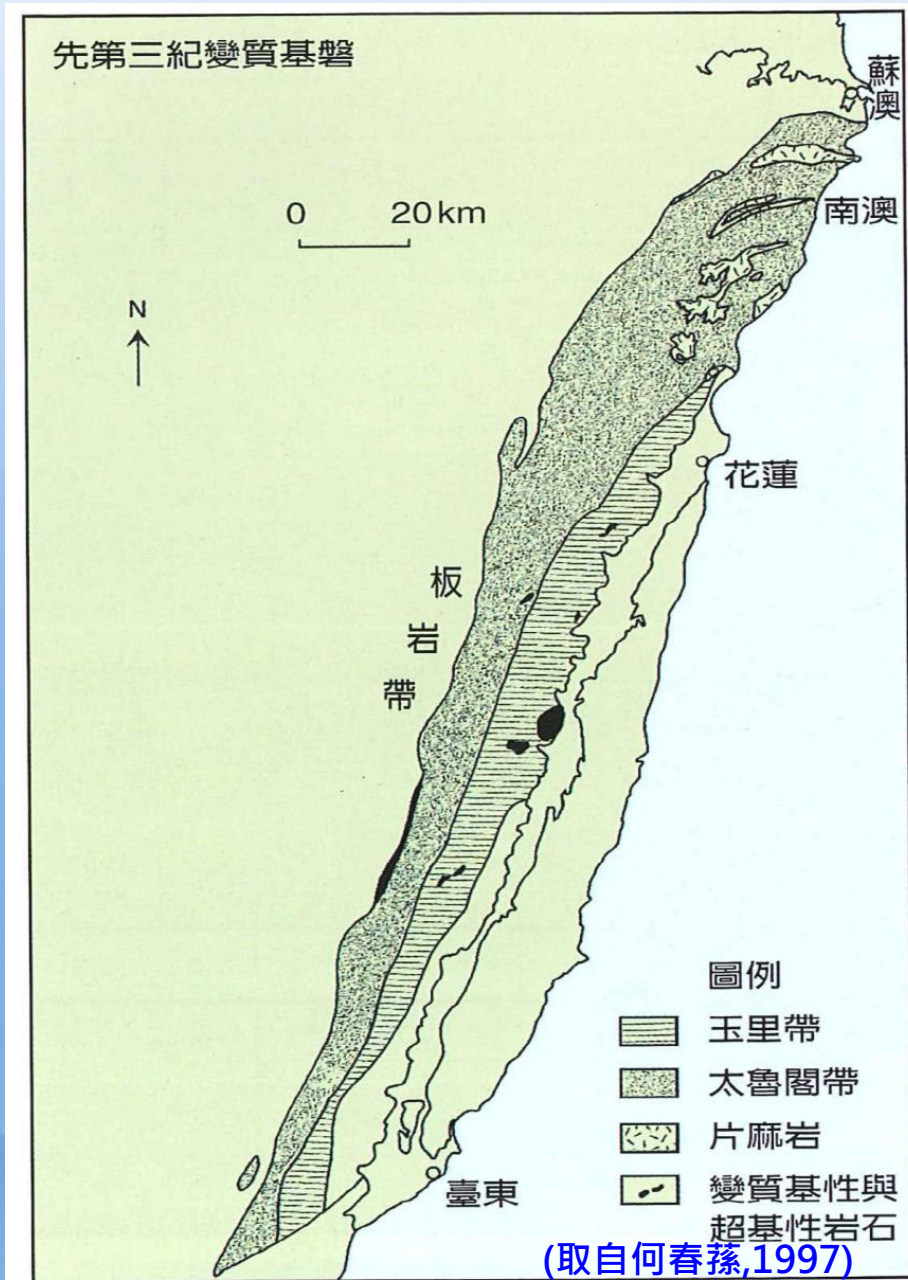
- 3 中央山脈斷層(?) 或
縫合帶或花東縱谷

海岸山脈地質區

註:何春蓀(1997)稱 1 2 為界限斷層(boundary fault)

一、脊樑山脈東斜面變質岩區-大南澳變質雜岩

先第三紀之大南澳變質雜岩主要出露在中央山脈東部，它是台灣最古老的地質和構造單元。南北長約二百四十公里，最寬達三十公里，由北向南變窄，總面積約四千六百平方公里，本區組成岩石一般以中級變質之綠色片岩與其他共存岩石為主，但在本區最東北部之片麻岩與角閃岩之存在已進入高級至中級變質區之角閃岩相範圍(陳肇夏、王京)，也有矽線石的發現(朱倣祖，1981)。



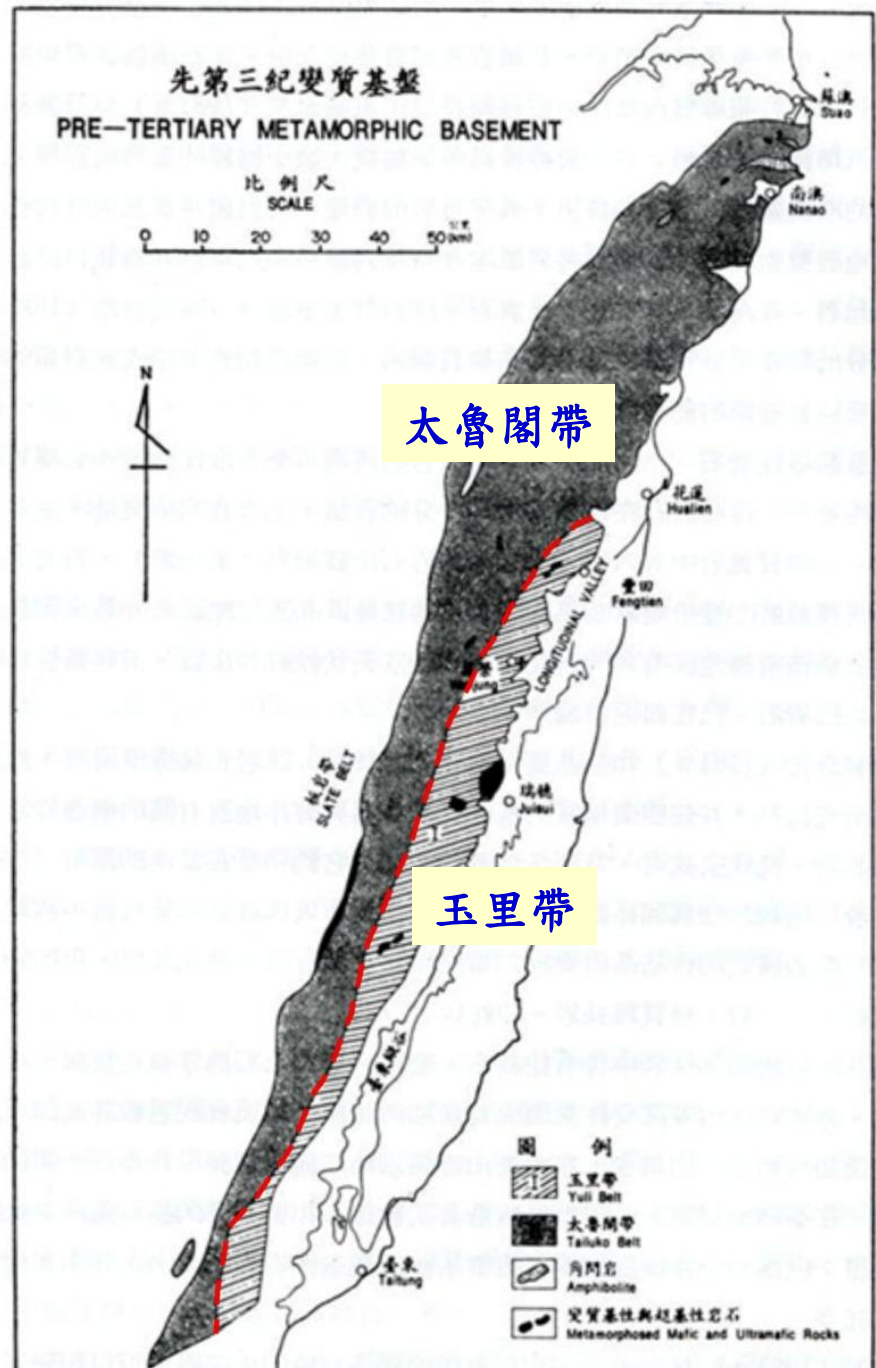
大南澳變質雜岩中，可以認出有兩個主要的變質帶或岩相構造帶，這就是顏滄波(1963)分成的太魯閣帶及玉里帶。

西邊的太魯閣帶由泥質片岩、片麻岩、混合岩、變質石灰岩、綠色片岩、矽質片岩和角閃岩構成，大部岩石曾受高級綠色片岩相變質作用。

東邊的玉里帶的分布範圍要小得多，有單調的泥質黑色片岩夾有少量的綠色片岩組成。大部份的基性變質海洋構造岩塊或外來岩塊都在這帶的片岩內。無太魯閣帶中出現的變質石灰岩及花崗岩質岩石。

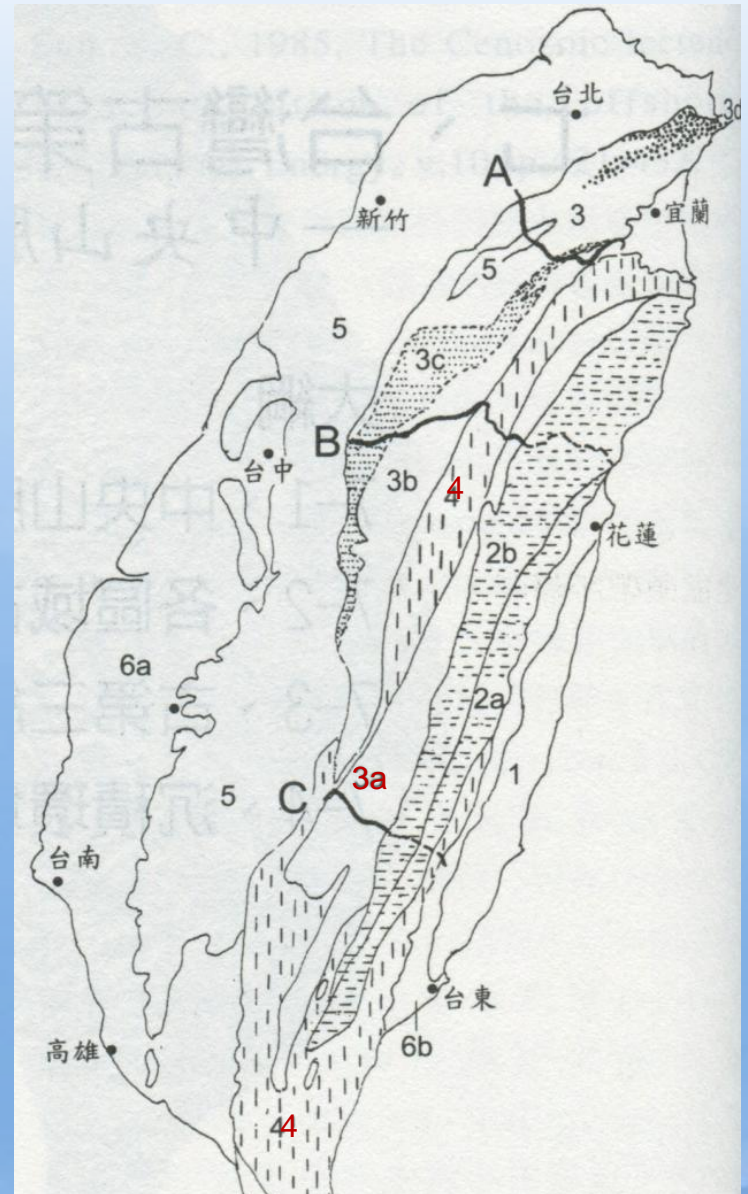
由於藍閃石片岩的出現，顏滄波(1963)將玉里帶定為在高壓低溫下造成的藍色片岩相，而太魯閣帶則是低壓高溫下造成的綠色片岩相。根據都城秋穗(Miyashiro, 1961)的理論，這兩個變質帶構成環太平洋山脈中常見的成雙變質帶。

顏氏認為這兩個變質帶之間為一條縱長的壽豐斷層所分隔。但這一斷層的確實位置、性質、延展及詳細情形始終沒有確定，也有人指出該地兩帶可能是漸變的，或者兩者間有很複雜的接觸關係，因之介於這兩變質帶之間的縱長構造線，迄今尚難加以確認。



二、脊梁山脈稜線諸主峰及其西坡之板岩帶

本區界線，西邊以梨山縱谷與雪山山脈相分隔，往東直達脊梁山脈之最高稜線，南端迄於恆春半島之北側。區內岩石由變質之第三紀泥質岩及其所間夾之少量基性火山岩所構成。岩石以低度變質之板岩與千枚岩為主，夾有部分灰色硬化砂岩。地層系統則分屬於畢祿山層與廬山層。



3a-脊梁山脈西坡畢祿山帶，3b-雪山山脈硬泥岩一板岩帶，3c-砂岩帶，3d-澳底，4-廬山層。〔其他非古第三紀地區:1.海岸山脈，2.大南澳片岩區，5.末變質麗山帶地區，6.沖積層〕粗線A、B、C示北部、中部、南部三條橫貫公路之位置圖。

三、雪山山脈之非常低級至低級變質之泥質岩與砂岩

本變質區處於屈尺斷層線與梨山縱谷之間的雪山山脈。本區岩層以古第三紀之沉積岩為主，亦夾有基性火山岩層。變質岩石可分為泥狀岩 (Mudrocks) 和砂質岩兩種岩相，在雪山主峰以北地區泥狀岩占多數，雪山以南與玉山則石英質 (Quartzose) 砂岩增多。本區之變質度有往東增加之趨勢，泥質岩在本區西緣多屬堅質 (indurated) 之頁岩與粉砂岩，以屬於漸新世之大桶山或水長流層為主，往東由硬泥岩遞進為半板岩，多屬粗窟 - 乾溝層之地層，再往下部在漸新至始新統之西村層及其相當地層中則有板岩出現。

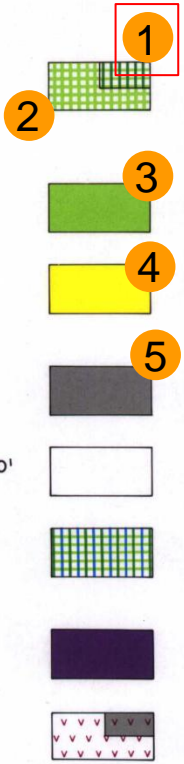
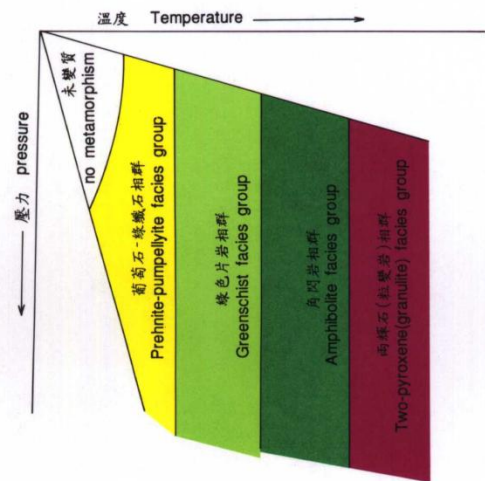
台灣中央山地古第三系地層之分布地區



3a-脊樑山脈西坡畢祿山帶，3b-雪山山脈硬泥岩-板岩帶，3c-砂岩帶，3d-澳底，4-廬山層。〔其他非古第三紀地區:1.海岸山脈，2.大南澳片岩區，5.末變質麓山帶地區，6.沖積層〕粗線A、B、C示北部、中部、南部三條橫貫公路之位置圖。

圖例 LEGEND

23°00'



1 綠色片岩相覆印在綠色片岩相與局部角閃岩相群之上 (古生代沉積岩及火成岩於中生代及上新-更新世變質)
Greenschist facies group and local amphibolite facies group overprinted by greenschist facies group (late Paleozoic sedimentary and igneous rocks metamorphosed in Mesozoic Era and Plio-Pleistocene time)

2 綠色片岩相群(始新世至中新世之板岩及變質砂岩)
Greenschist facies group (Eocene to Miocene slate and metapsammite)

3 葡萄石-綠纖石相群(始新世至中新世之板岩及變質砂岩)
Prehnite-pumpellyite facies group (Eocene to Miocene slate and metapsammite)

4 漸新世至中新世未變質但褶皺之砂页岩
Oligocene to Miocene unmetamorphosed but folded sandstone and shale

5 上新世至現代之未變質沉積岩
Unmetamorphosed Pliocene to Recent sedimentary rocks

綠色片岩相覆印在高壓綠色片岩相及角閃岩相之上
Amphibolite facies overprinted by high pressure greenschist facies and greenschist facies

蛇紋岩及變質基性岩(位於成岩帶者未變質)
Serpentinite and metabasite (unmetamorphosed in the diagenetic zone)

安山岩、玄武岩、輝綠岩及火山岩屑
Andesite, basalt, diabase and volcanoclastic rocks

礦物 MINERALS

o : 角閃石 amphibole; g : 石榴子石 garnet; gl : 藍閃石 glaucophane
e : 綠簾石 epidote; pl : 斜長石 plagioclase; s : 矽線石 sillimanite

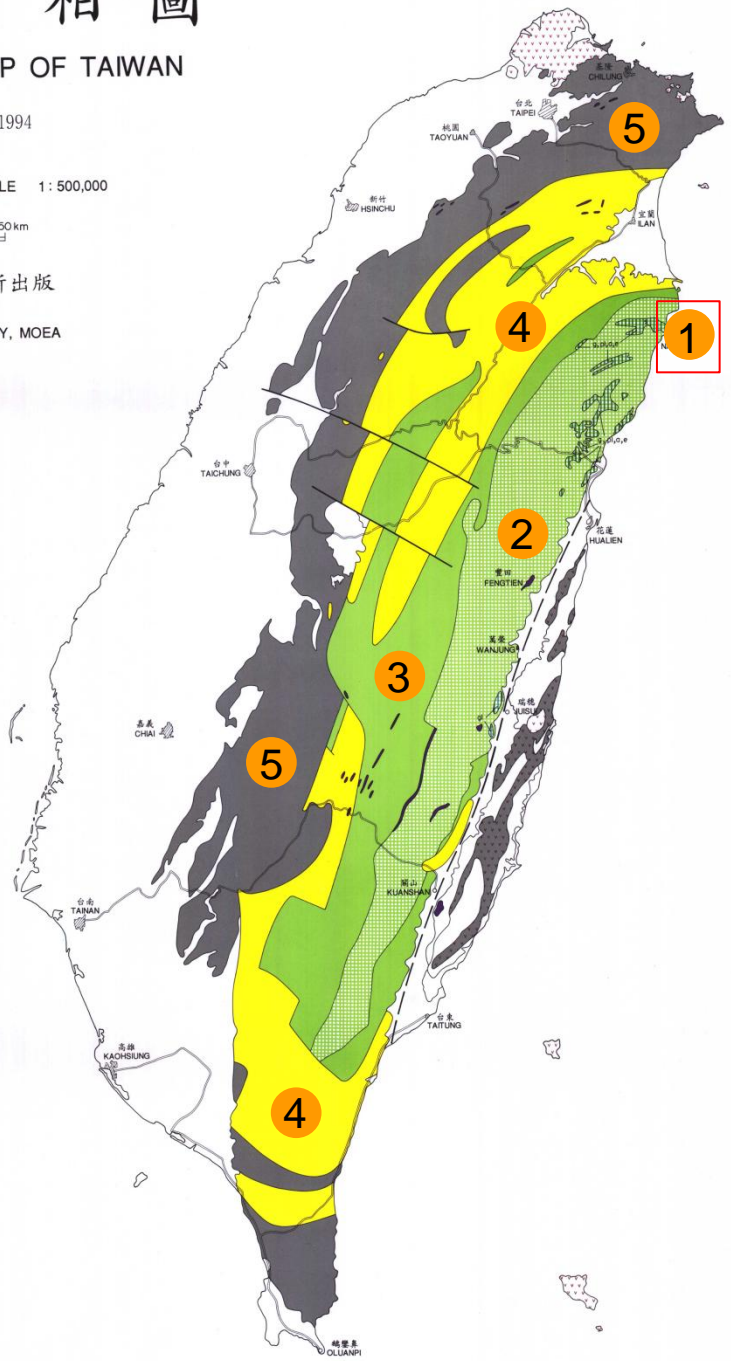
臺灣變質相圖

ETAMORPHIC FACIES MAP OF TAIWAN

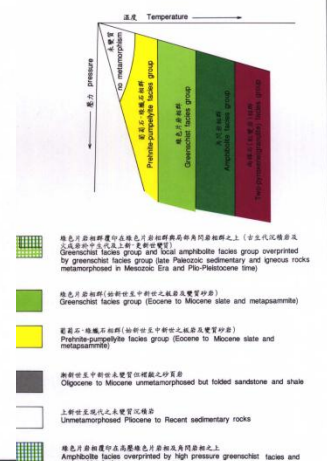
中華民國八十三年 1994

比例尺 五十萬分之一 SCALE 1:500,000
0 10 20 30 40 50 km

經濟部中央地質調查所出版
PUBLISHED BY
CENTRAL GEOLOGICAL SURVEY, MOEA
REPUBLIC OF CHINA



圖例 LEGEND



-22°00'

一、基盤雜岩的角閃岩相群

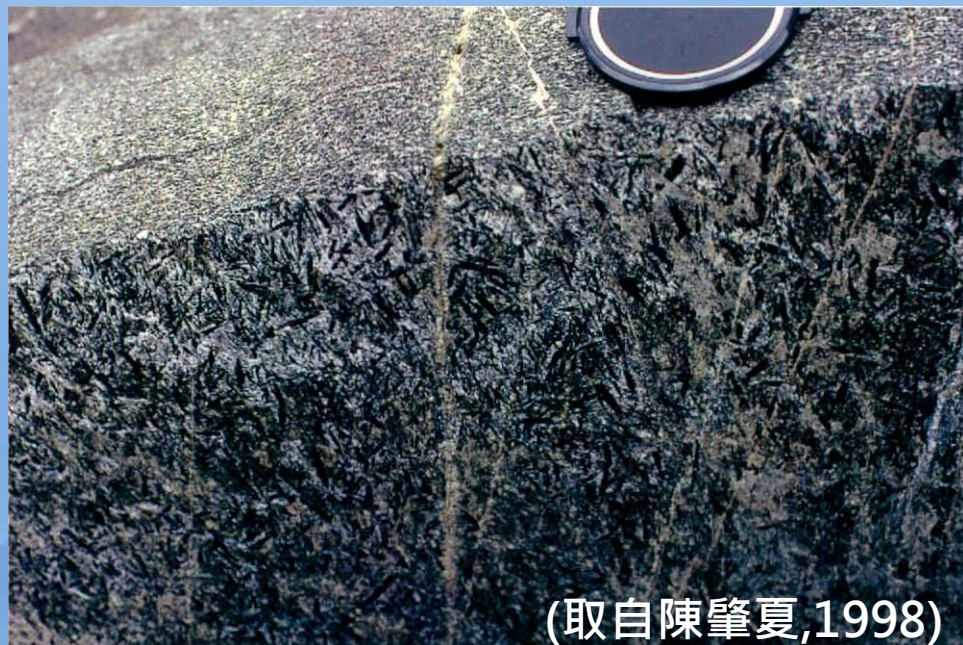
1、太魯閣帶的角閃岩與片麻岩體

這是顏滄波所指的高溫低壓變質帶；大部分的太魯閣帶曾遭受綠色片岩相變質，不過本帶之東北端，特別是出現於蘇澳南澳地區的角閃岩、副片麻岩與變質花岡岩等均顯示更高之變質度，推定可能在600°C溫度和5kb的壓力下生成（Liou et al. 1981；恩斯特等人，1981），局部出現矽線石（朱倣祖，1981，專刊）也反映變質度的提高。譚立平等（1994, Acta）分析台灣地層中之鏡煤素反光率，其最高值9.3亦出鏡煤素反光率，其最高9.3亦出現於南澳附近，因此可能是台灣變質帶之核心，或是隆起量最大的地方。



(取自陳肇夏,1998)

東澳海邊所見角閃岩的露頭，葉理發達。



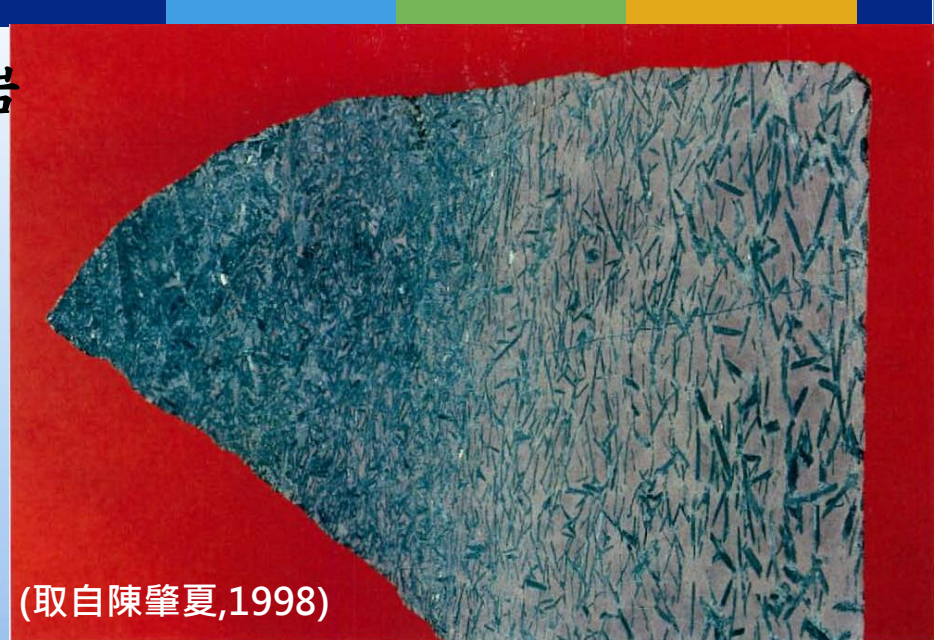
(取自陳肇夏,1998)

與上圖同地點，黑色柱狀礦物為普通角閃石，白色為斜長石。

2、玉里帶的綠簾石角閃岩及蛇紋岩

與蛇紋岩共生的含錳石榴子石之藍閃石片岩及由海洋性玄武岩變成之綠簾石-角閃岩產出在瑞穗地區的大構造岩塊之內(顏, 1966, 會刊: Liou et al., 1975; 藍晶瑩、劉忠光, 1981, 專刊), 該地點提供重要證據支持以下看法, 即在晚中生代含花岡岩類的太魯閣變質的同時, 東側的玉里地區曾存在高壓低溫的環境(顏, 1966; 羅清華, 1994, 國科會報告)。恩斯特(1981, 專刊)認為此種藍閃石片岩可能是中生代晚期古太平洋板塊的蛇綠岩物質由南中國海板塊之向東隱沒在與菲律賓海板塊之複雜縫合線上所產生的。

豐田、萬榮、瑞穗與玉里清水溪等地, 在黑色片岩中夾有超基性與基性之蛇紋岩、變質輝長岩與綠簾石角閃岩等岩體之散佈。這些岩體可能為海洋地殼或玉里帶混同層之構造岩塊, 這些岩體之中也有部分含有後期疊加的含綠色片岩相礦物群(葉蛇紋石-纖蛇紋石、透閃石、綠泥石、滑石等), 變質的透輝石常出現在蛇紋岩與變質泥岩之接觸面上以及軟玉礦之圍岩中; 由豐田軟玉推算出的生成溫度在 300-400°C (陳肇夏, 1979, 地質), 符合後期的綠色片岩相變質。早期的綠簾石角閃岩的變質溫度和壓力, 可到達到 500°C 和 7-8 kb (劉忠光, 1981)。此外在瑞穗打馬燕村落附近山地礫石層中含有甚多陽起石與滑石共生, 以及褐紅色含錳之微晶石榴子石與白雲母與角閃石共生之大礫。



(取自陳肇夏, 1998)

瑞穗打馬燕山構造地塊內所產的藍閃片岩, 內含鈉質角閃石及藍閃石, 粉紅色基質為細粒錳鋁榴石

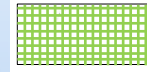


瑞穗打馬燕山所產雲母角閃片岩, 內含鈉雲母

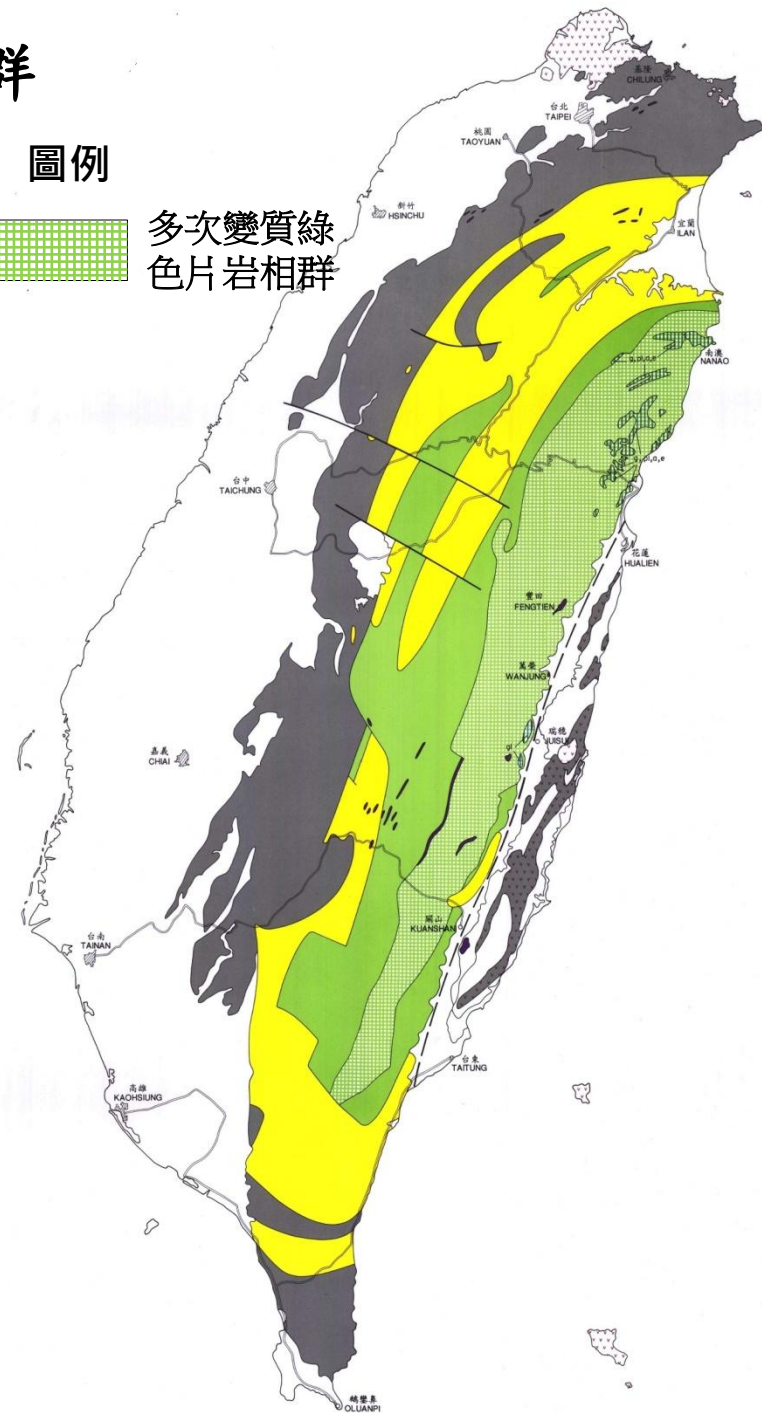
二、基盤雜岩中的多次變質綠色片岩相群

基盤雜岩由泥質片岩與大理岩組成，內夾薄層至厚層變質砂岩（含石英及白雲母）、燧石層與綠色片岩，此等岩石佔大南澳片岩80%以上，曾經多次再結晶與強烈變形。基盤雜岩內的泥質片岩、大理岩與變質火山岩大部分僅紀錄有最近一次的綠色片岩相變質作用，其強度向東逐漸增加。在太魯閣帶的最北部，中生代更高級變質帶的岩石也受到後成之綠片岩礦物群之重疊。陳肇夏等（1995）認為北部綠色片岩相變質溫度多在350—510°C之間，但玉里帶之變質溫度多在300—450°C之間，全區之變質度向南有逐漸減弱現象。

圖例



多次變質綠色片岩相群



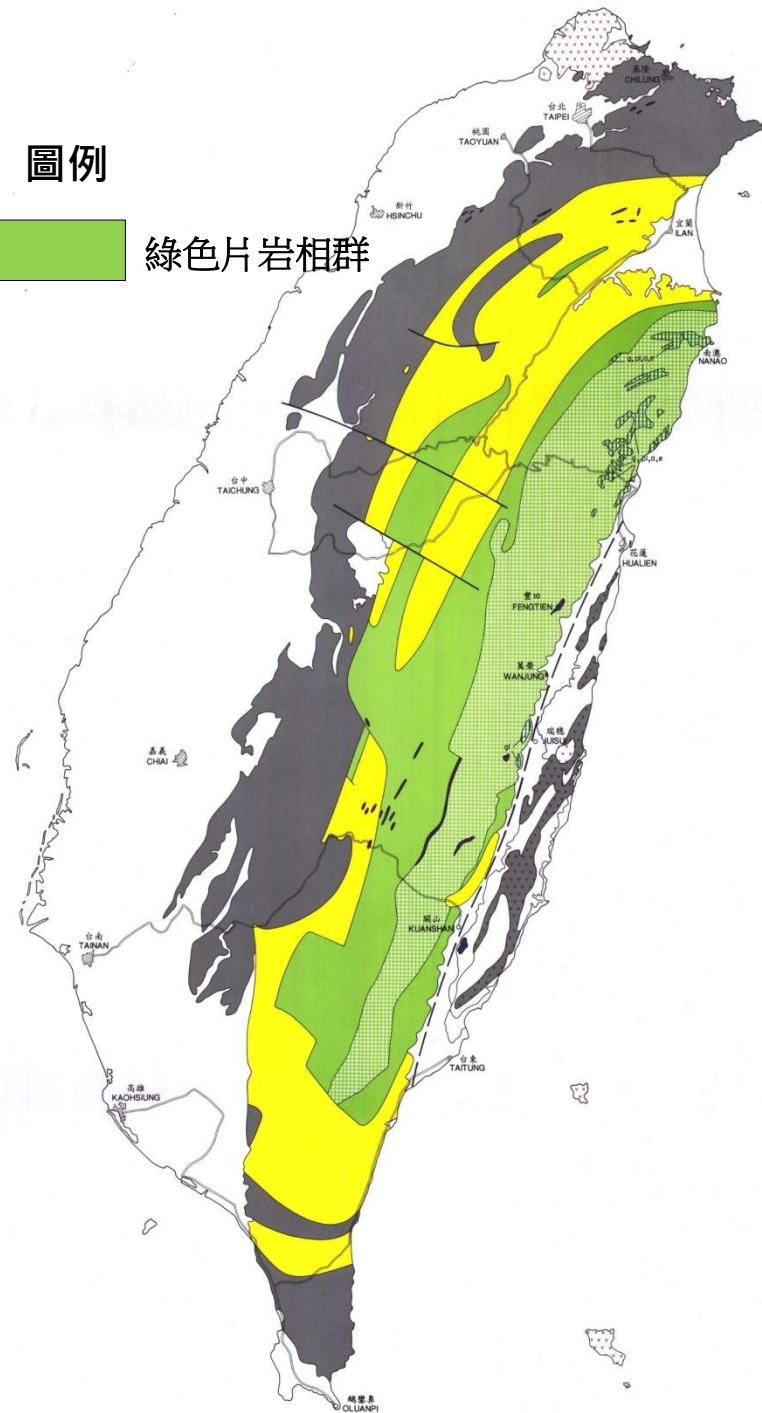
三、第三紀板岩地帶的綠色片岩相群

板岩帶的分布地區是以脊樑山脈稜線及其西坡為主，這地帶與上述完全再結晶及片理發達的基盤雜岩所不同者是在於本帶岩石都是由**新生代沉積岩層**所組成，與少量**基性火山岩**，根據岩性及構造上之認知，本區岩層**僅經歷過一次綠色片岩相變質**，沉積岩類變質成為泥質板岩，千枚岩和富含石英與雲母的變質砂岩。

圖例



綠色片岩相群



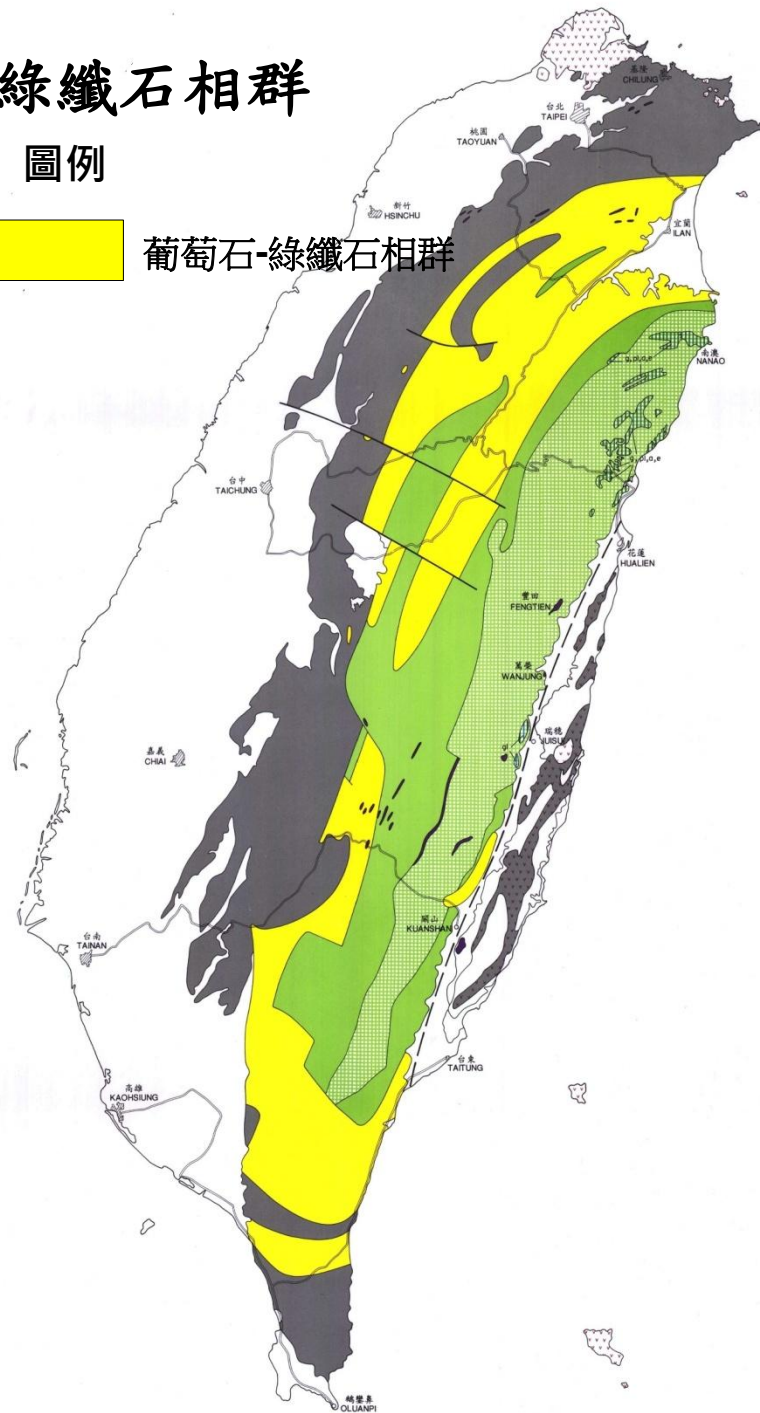
四、雪山山脈硬泥岩與板岩帶的葡萄石-綠纖石相群

在雪山山脈與中央山脈（脊梁山脈）的西翼及其南北部有一由暗灰色泥質沉積岩與砂岩構成之地帶，最寬達 30 公里，其西界為屈尺與荖濃溪斷層，東界與上述之板岩地層綠色片岩相群為鄰，其岩性與後者之差別在含大量石英岩質砂岩與石英岩、石墨質煤、火山岩流及火山碎屑岩。硬泥岩與砂岩之填充物含綠泥石—伊萊石黏土、石英、鈉長石、碳質物及方解石，均非葡萄石—綠纖石相之特徵礦物。綠纖石之存在僅有在北橫公路之玄武岩質凝灰岩中發現過（蕭宏志、楊宏儀等，1987，會刊），因此自西部麓山帶的成岩化與沸石相到本帶之後，直接轉變成低度綠色片岩相相容之礦物群。

圖例



葡萄石-綠纖石相群

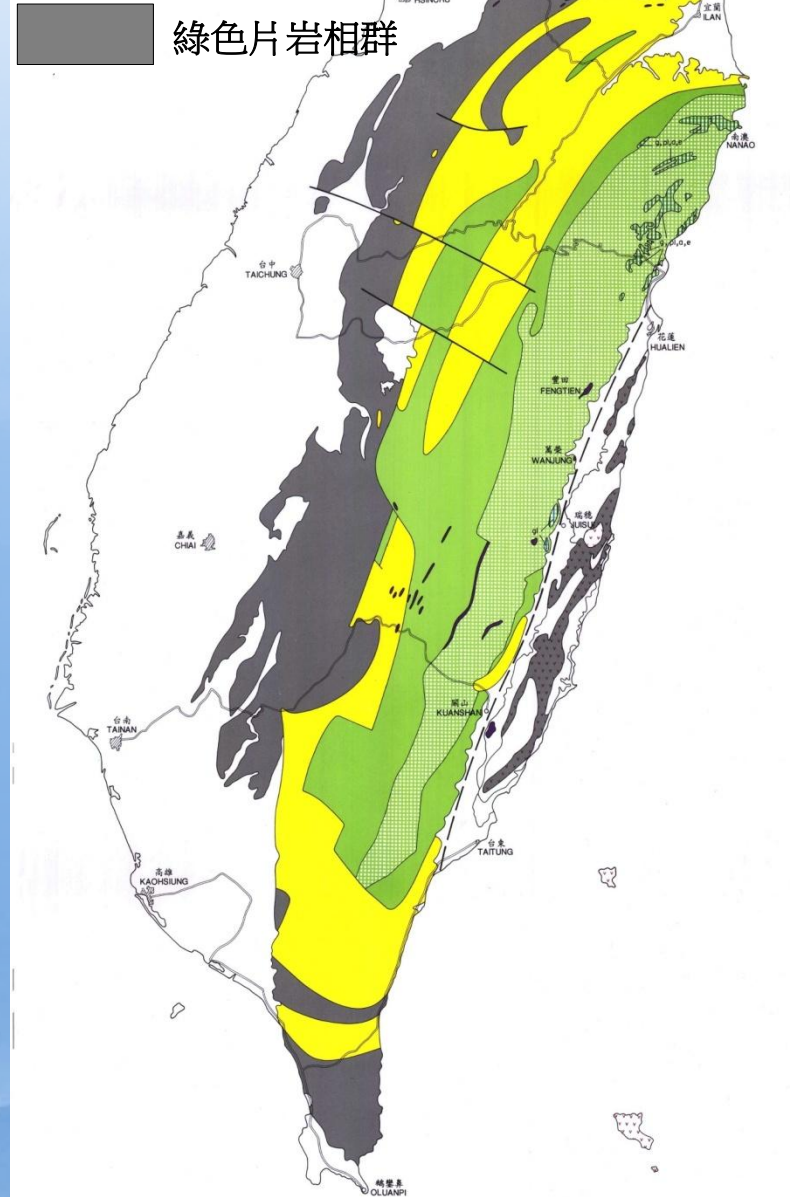


五、西部麓山帶的成岩帶與沸石相

位在西部麓山帶以及雪山山脈北端和西緣的未變質泥質岩、砂岩及火山岩與葡萄石 - 綠纖石相群之間的過度地帶，曾被視為沸石相之所在（陳肇夏、朱倣祖，1987；劉忠光，1981；劉忠光、恩斯特，1984）。在公館凝灰岩中雖常有方沸石存在，但都未見濁沸石出現。只在此地區泥質岩中伊萊石結晶之IC值也都大於 $0.38^{\circ}2\theta$ （本人以 $0.42^{\circ}2\theta$ 為界線，見本篇21-3-2節）。故陳肇夏、王京新（1995）仍將西部麓山帶之岩化帶（即成岩帶）與葡萄石 - 綠纖石相群之間之過度帶（沸石帶）全歸為成岩化帶（圖21-7之D帶），認為溫度皆低於 200°C 之地帶。

在屈尺斷層以西的西部低山帶未變質的中新世沉積岩與少量火山岩大都是僅受成岩作用固化之未變質岩石，惟在其深部數公里深度之岩石或有可能遭受深埋變質（burial metamorphism）而發生沸石相的再結晶作用，在西北部公館凝灰岩及相當之玄武岩層之中多有方沸石之存在，但罕有濁沸石之出現。

圖例

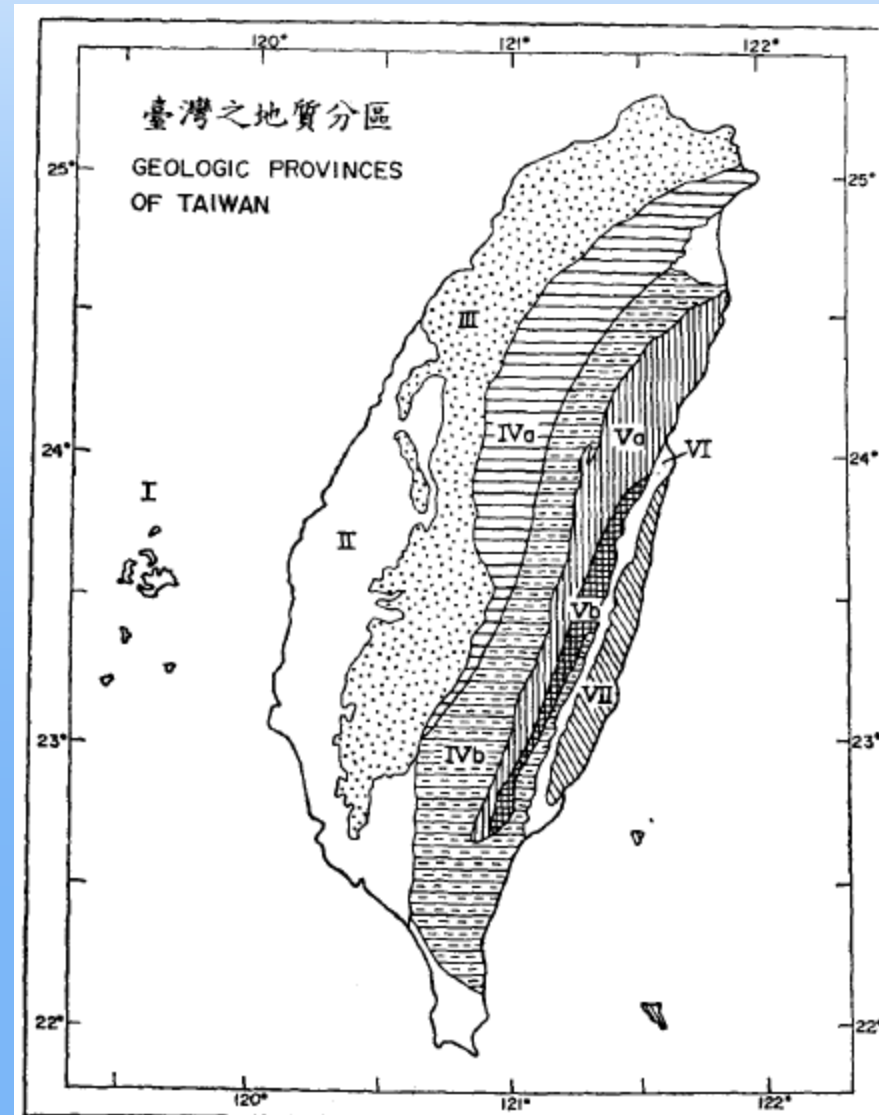


台灣變質岩的岩種及其特徵

脊樑山脈東翼區變質區

本地區絕大部分之變質岩曾經顏滄波整編入大南澳片岩之名下，其中之大類有黑色片岩，綠色片岩（或稱綠片岩）、大理岩、片麻岩及少量之角閃岩與變質基性岩石。

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| I 澎湖羣島（洪流式玄武岩） | V 中央山脈東翼地質區（先第三紀變質雜岩） |
| II 濱海平原（沖積層） | Va 太魯閣帶 |
| III 西部麓山地質區（以新第三紀碎屑岩為主） | Vb 玉里帶 |
| IV 中央山脈西翼地質區（中新世至古第三紀硬頁岩及板岩系） | VI 東部縱谷（縫合帶） |
| IVa 雪山山脈帶 | VII 海岸山脈地質區（新第三紀火山質及濁流式碎屑岩覆蓋的火山弧） |
| IVb 脊樑山脈帶 | |



一、片岩類

顏滄波 (1959 , 彙刊) 將大南澳片岩分為**黑色片岩**與**綠色片岩**兩大類, 前者顏色灰黑, 以含石英雲母為主, 或含少量鈉長石。在雲母-石墨-石英片岩或含**石墨**之雲母石英片岩中含有稀疏散布之石墨或碳質物。石墨能富集而成薄膜以至薄層者並不常見。但在所謂黑色片岩地帶中也常含灰色石英-綠泥-絹雲母片岩與千枚岩。黑色片岩片理均共發達且多小皺紋, 多有石英脈穿切, 石英細脈亦多皺褶成腸狀構造。在台灣片岩中所含白色雲母均屬微細之絹雲母, 罕有粗粒之雲母片岩。

綠色片岩構成變質雜岩系中的另一種重要岩石出露在整個變質帶中。綠色片岩主要呈厚層或薄層或凸鏡體, 和其他變質岩交替成互層, 黑色片岩、層狀燧石岩及薄層大理岩是和綠色片岩最常共生的岩石。**綠色片岩多數由基性火山岩流及碎屑岩變質而成**。岩石細粒或中粒, 呈暗綠以至灰綠色片理多較平直。**綠泥石為最主要的綠色片岩的組成礦物**, 其他礦物有綠簾石、黝簾石、石英、方解石、黑雲母、鈉長石及少量其他副成分礦物。

顏氏所指之綠色片岩一詞包括狹義綠色片岩之外, 也包含角閃片岩、角閃岩、變質輝綠岩與蛇紋岩在內, 或泛稱綠色岩 (Green rocks) (顏滄波, 1954) 。



(取自陳肇夏, 1998)

中橫公路173慈母橋下所見變形強烈的綠色片岩, 內含石英、方解石脈及燧石薄層。



中橫公路稚暉橋下所見變形強烈的黑色片岩。

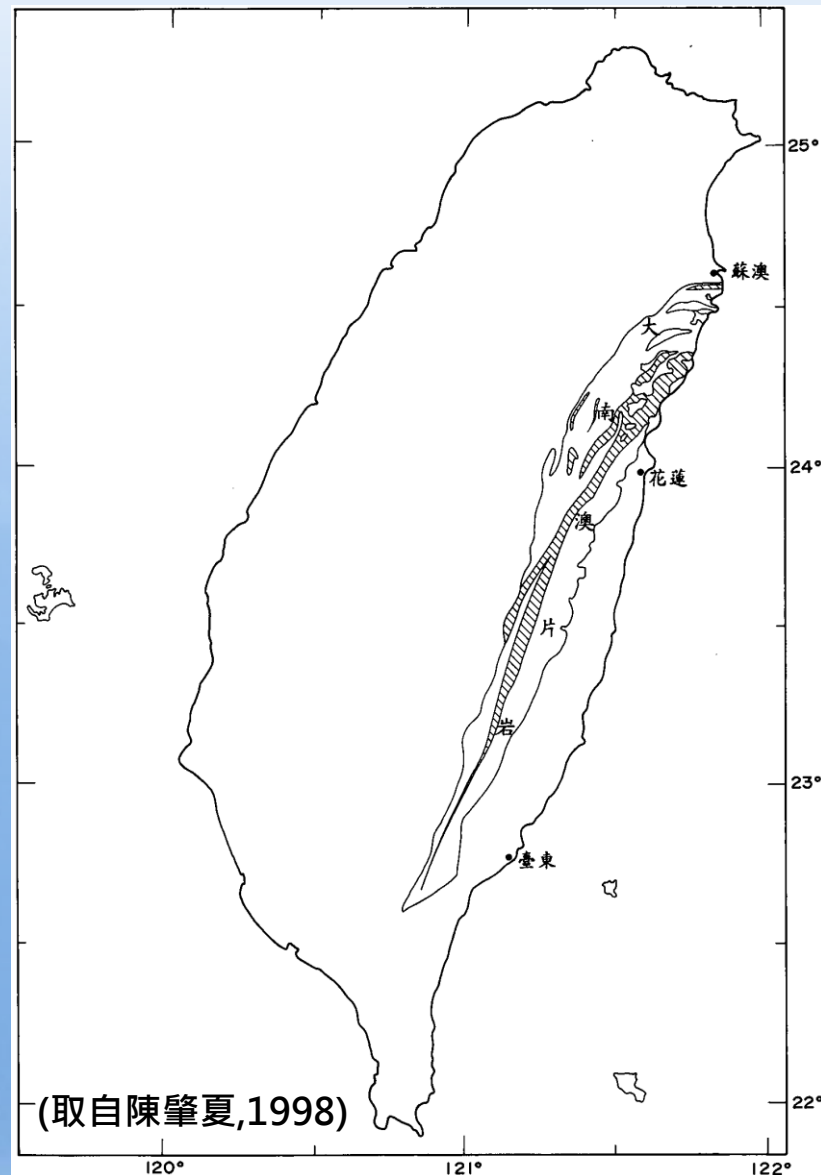
二、大理岩

結晶石灰岩 (crystalline limestone) 由石灰岩變質而成，又稱大理岩 (marble)，此等變質石灰岩大部分由再結晶的方解石所組成，如果含大量白雲石礦物則稱白雲石質大理岩或白雲岩，如果含矽質礦物 (石英) 則稱矽質大理岩。

中央山脈的結晶石灰岩或大理岩主要產在大南澳片岩內，另有一小部分產在碧候層及其相當地層之內，此等地層靠近大南澳片岩的西界。大南澳片岩內的大理岩中曾找到一些變形的蜆科及珊瑚化石，其中在南澳南溪楠子地方所採到保存較佳的紡錘蟲化石，經 Thompson 教授鑑定結果，含有屬名不十分確定的 Schwagerina, Parafusulina 及 Neoschwagerina，其時代應屬晚二疊紀 (顏滄波等，1951；李春生，1984)，又在馬太鞍溪中所找到的

Waagenophyllum 珊瑚化石也指示相同的時代。大南澳片岩內的大理岩曾經做過鉀鋇同位素定年，結果為 200 — 240 百萬年 (江博明等，1984)，利用 $\delta^{13}\text{C}$ 地層對比推定大理岩的年代為 240~243 百萬年 (俞震甫，1987)，結果也指示二疊紀的年代，由此可見大南澳片岩內大理岩的沈積時代為晚古生代的二疊紀應無疑問 (陳其瑞，1996)。

台灣大理岩之分布圖



台灣結晶石灰岩之分布。大部份依據何春蓀(1986)；始新世石灰岩斷續出現在大南澳片岩西界附近，未繪示於圖上。

大理岩



銅門上游木瓜溪揚清橋西北約1.8公里數，灰色薄層的大理岩，此等層理可能非原始層理，可能係大地構造運動中極度變形的結果。



中部橫貫公路慈母橋下所見高度褶曲變形的大理岩，內夾綠色片岩。



分凝條帶

野外露頭上，大理岩顯示條帶狀(banded)，由深灰至白色等深淺不同色澤的條帶，相當平整，呈層狀出現。初看之下，狀似層面。然而經過仔細的觀察，尤其在顯微鏡下，可發現方解石的在結晶作用強烈，可以肯定的判斷，深淺之條帶不是原始沉積之層面，而是分凝條帶。再結晶作用時將雜質排除而為淺色條帶，雜質富集之處為深色條帶。其雜質以碳質物為主。這種深淺顏色的條帶，應屬葉理的一種。



大理岩顯示條帶狀(banded)。



大理岩中由再結晶作用而產生的分凝條帶。

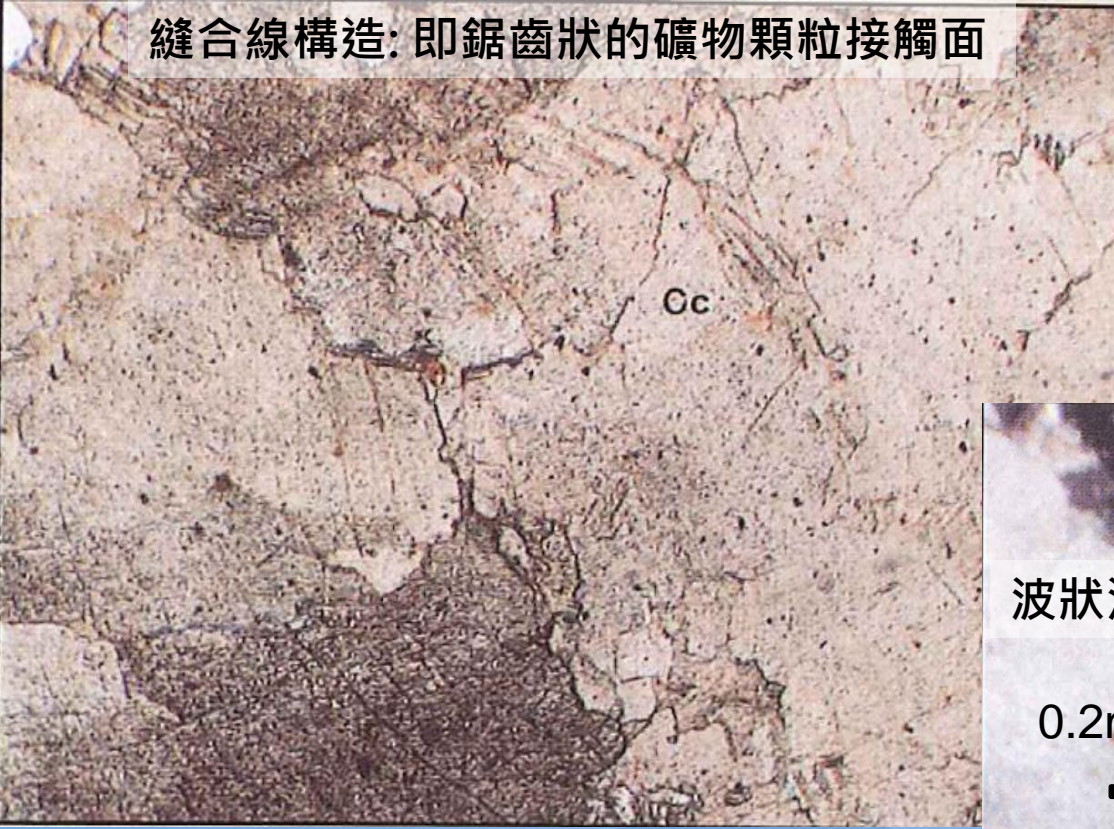
縫合線構造&波狀消光

大理岩受壓溶作用，使方解石顆粒間呈現出縫合線構造(stylolitic structure)，並呈波狀消光。

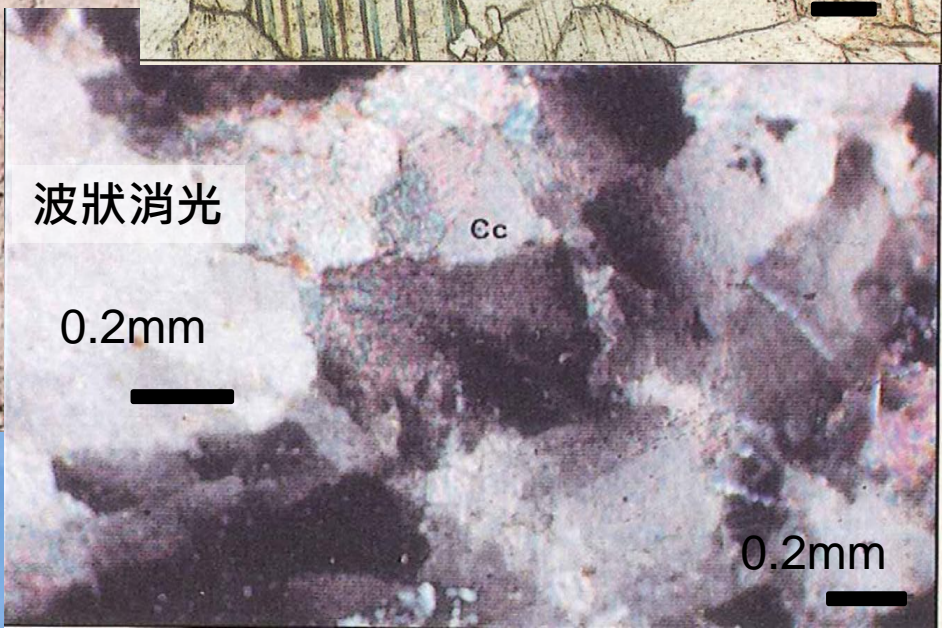
溫度的效應 **主要** 再結晶(礦物顆粒變大，邊界變平整)

壓力的效應 **主要** 縫合線構造&波狀消光

縫合線構造: 即鋸齒狀的礦物顆粒接觸面



波狀消光

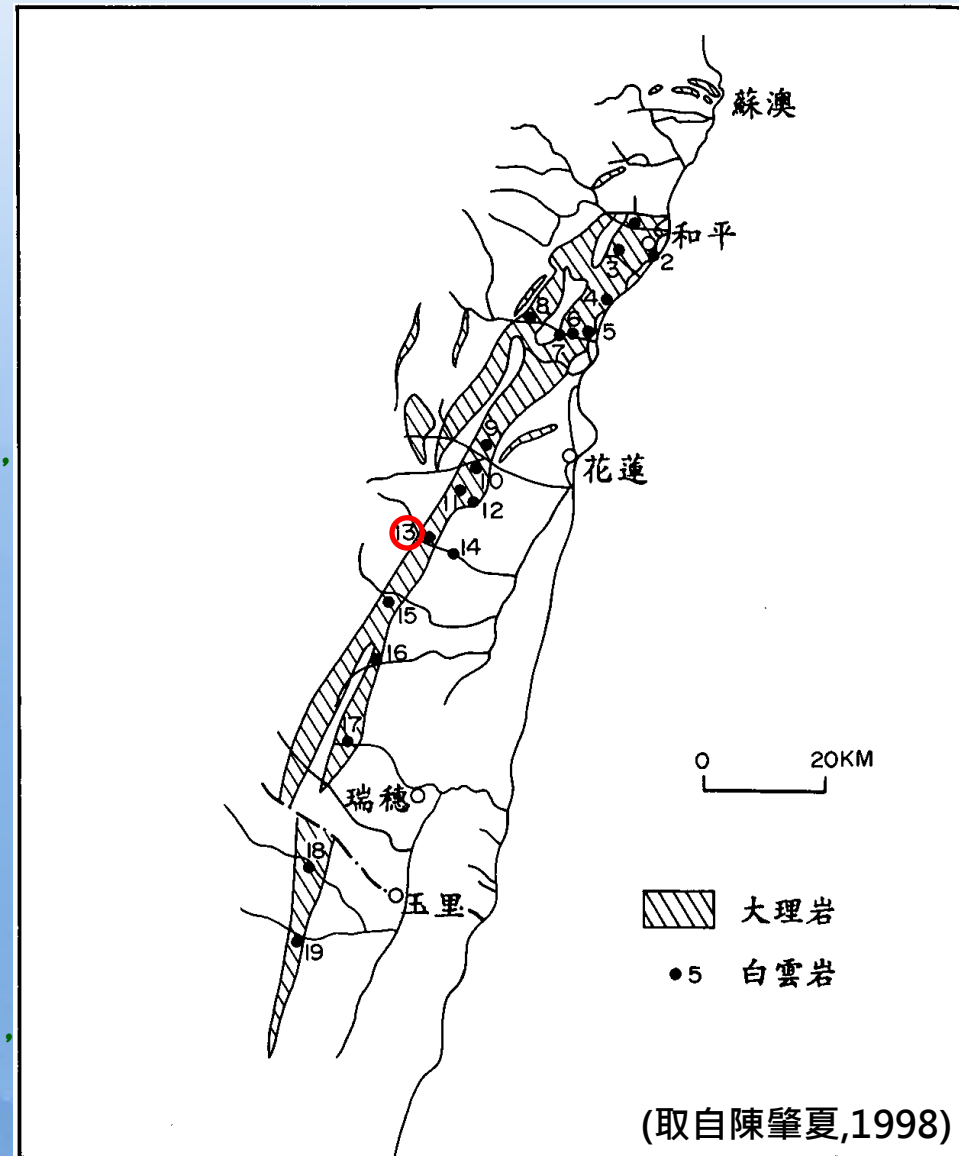


白雲岩(dolomite)

在上述大理岩帶之內存在不少白雲岩礦體，自北向南依次為1澳花、2和平、3和仁、4清水、5崇德、6太魯閣、7白沙橋、8老西、9銅門、10木瓜山、11烏帽子山、12荖溪、13清昌山、14萬里橋、15萬里橋、16馬太鞍、17麻子漏溪、18拉庫拉庫溪、19清水溪等（陳其瑞，1996），另外在清昌山之下游河床上有許和清水溪等處。層狀的白雲岩厚度可達10~50公尺，甚或近100公尺，延長可達百公尺。扁豆狀或不規則團塊岩體，小者不過數十公分厚，十餘公尺長。白雲岩層風化後表面常因溶解而產生細溝紋或象皮狀之皺紋，是其一項特徵。

白雲岩品質較佳者可含MgO達21%，近於理論成分，可利用的白雲石之MgO含量都應在15%以上。白雲岩的成因是後成的，即大理岩中部分的方解石被富鎂溶液所替代，或與基性火成岩之侵入有關。方解石大理岩與白雲岩間的成分是可以相互遞變的，所以在名稱的使用上，也可用中間或過渡的形容詞，例如方解石質白雲岩或白雲石質石灰岩(Greensmith, 1989)。

台灣白雲岩床之分布位置略圖



方解石 (calcite, $\text{Ca}(\text{CO}_3)$) v.s. 白雲石 (dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)



台灣東部清昌山下游河川上有許多白雲岩礫，屬於砂礫礦床，源自上游大理岩內之礦體。



台灣的白雲石。

白雲石 (dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

菱鎂礦 (magnesite, MgCO_3)



方解石 (calcite, $\text{Ca}(\text{CO}_3)$)

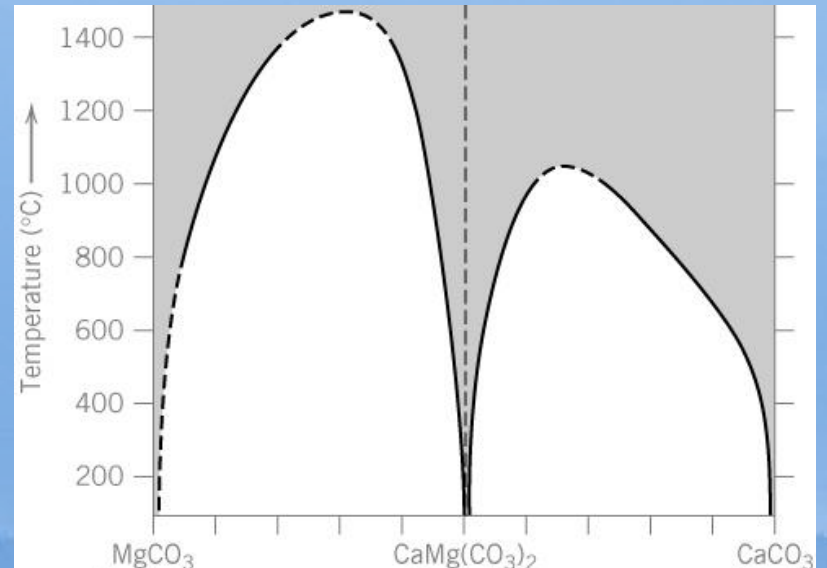
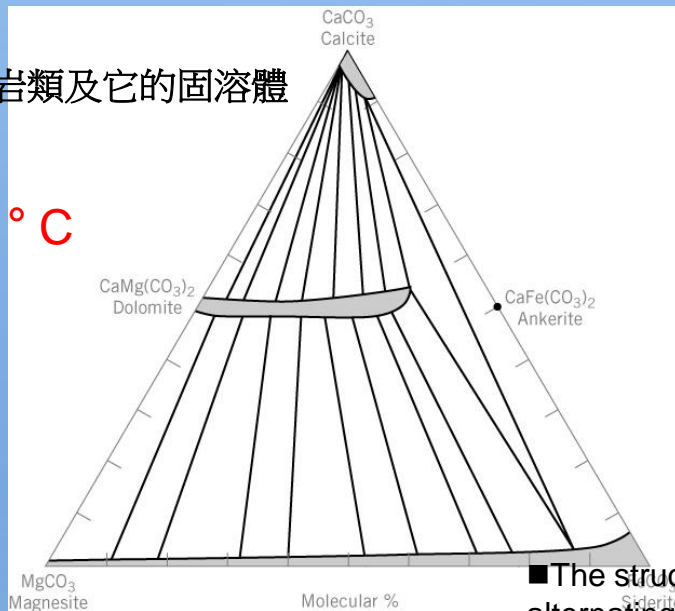


方解石 (calcite, $\text{Ca}(\text{CO}_3)$) v.s. 白雲石 (dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

方解石與白雲石在顯微鏡下的光學性質十分相近，二者難以分辨，唯有藉染色法或 X 光繞射才可以看出其間的差別，而最正確可靠的方法莫過於電子微探分析，它不僅可以正確鑑定各種碳酸鹽礦物，而且連其內所有鈣、鎂、鐵、錳含量都可以準確分析出來，這是顯微鏡和 X 光繞射難以辦到的事。方解石的硬度為 3，容易溶於稀磷酸，並產生強烈氣泡（二氧化碳）；白雲石的硬度為 3.5~4.0，不易溶於稀鹽酸中，除非把它研碎成粉末；新鮮的白雲石粉末比較容易與稀鹽酸作用。此外，由於白雲石硬度較大，也較耐酸水腐蝕，因此假如白雲石與方解石同時存在大理岩內，經過長時間風化風化大理岩表面上常呈現凹突不平的差別侵蝕現象，其突出部分多由白雲石組成侵蝕之後，在此，比較耐侵蝕，凹下的部分多由方解石組成，比較不耐侵蝕，不過矽質大理岩也可能產生類似的耐蝕現象。

碳酸岩類及它的固溶體

400 ° C



■ The structure of dolomite is similar to that of calcite but with Ca and Mg layers alternating along the c-axis. The large difference in size of the Ca^{2+} and Mg^{2+} ions (33%) causes cation ordering with two cations in specific, and separate levels in the structure.

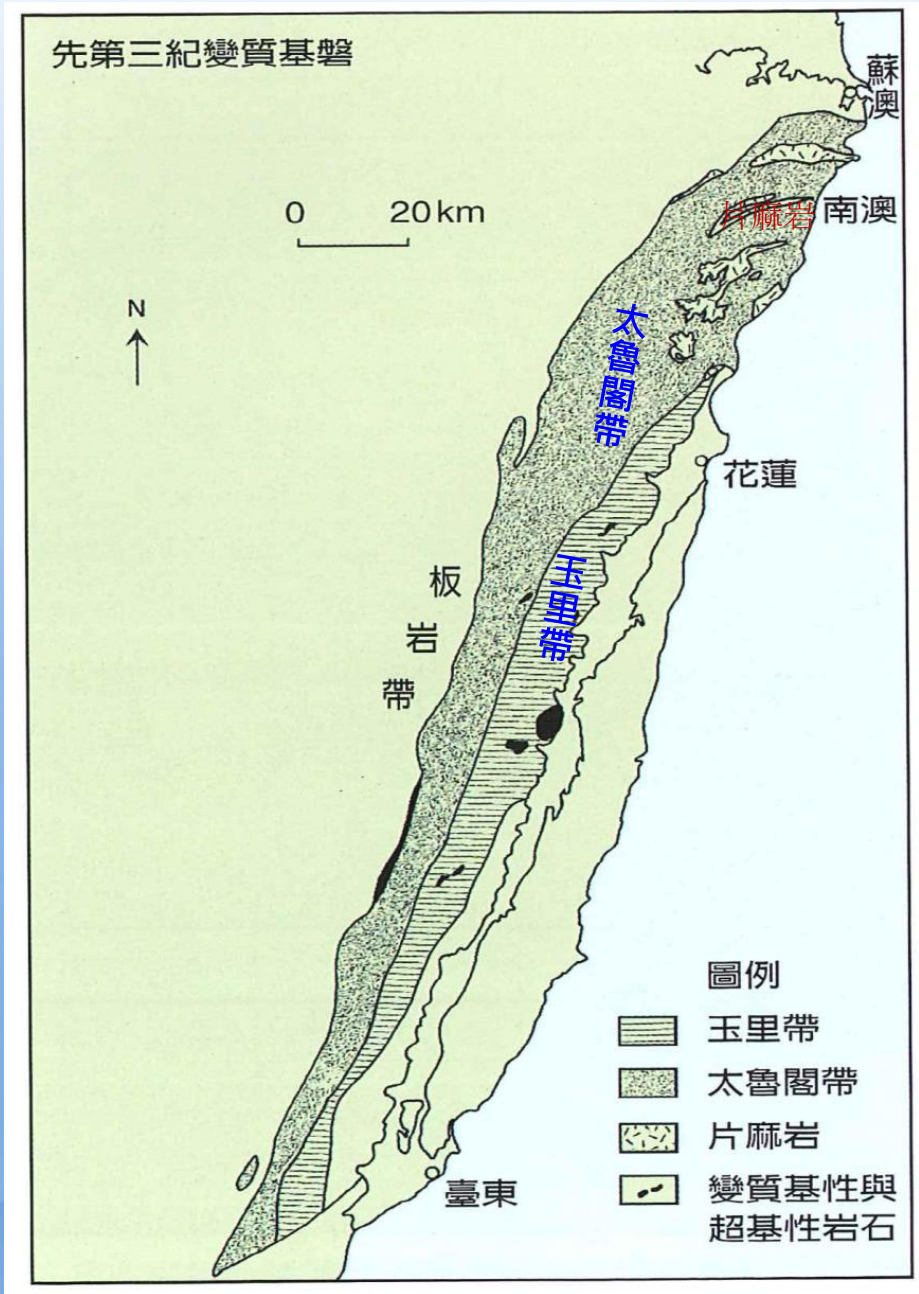
三、片麻岩

片麻岩為中粒至粗粒，具有片麻狀組織的變質岩。

片麻岩類主由粗粒之石英與長石以及次要之暗色礦物所組成之變質岩，具有較粗糙條帶狀葉理（片麻理，gneissosity），由雲母等片狀礦物包繞淺色之石英與長石粗晶而成波狀之條帶狀排列，常形成眼球狀構造。

片麻岩與片岩之間在岩象構造上是漸變的，有的教科書限定長石含量達 25 % 以上者稱片麻岩，反之為片岩。

片麻岩主要出露在變質區的東北部，而且只限於太魯閣帶中。



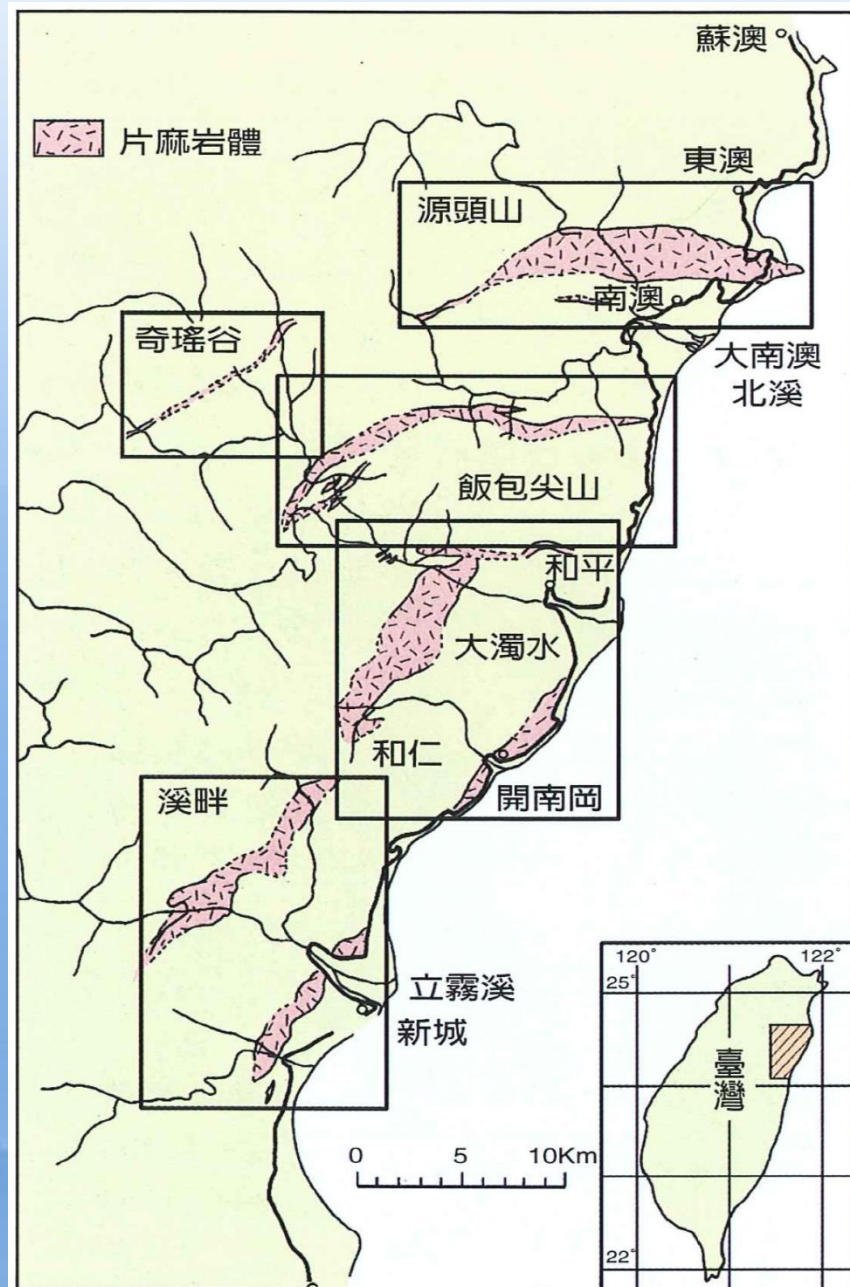
宜蘭至花蓮間大南澳中的片麻岩

片麻岩可分富含石英長石質的副片麻岩(paragneiss)和花岡岩質的正片麻岩(orthogneiss) (恩斯特等, 1981, 專刊四號)。

副片麻岩的原岩可能為變質砂岩和變質頁岩, 其岩理為粗粒片麻狀岩, 具有殘留的碎屑狀岩理, 但葉理發達程度各岩體不一。

花岡岩質的正片麻岩, 由火成岩包含侵入岩與火山岩, 經區域變質後形成。呈淡灰色, 具有殘留的花岡岩理, 變質後葉理面多和圍岩的片理面一致, 在和圍岩接觸處多呈整接狀但亦有呈侵入現象。

台灣的花岡片麻岩, 分布在中央山脈的東坡, 包括奇瑤谷、源頭山、大濁水、飯包尖山、溪畔及開南岡等地區。



花岡岩化與片麻岩化

副片麻岩的形成

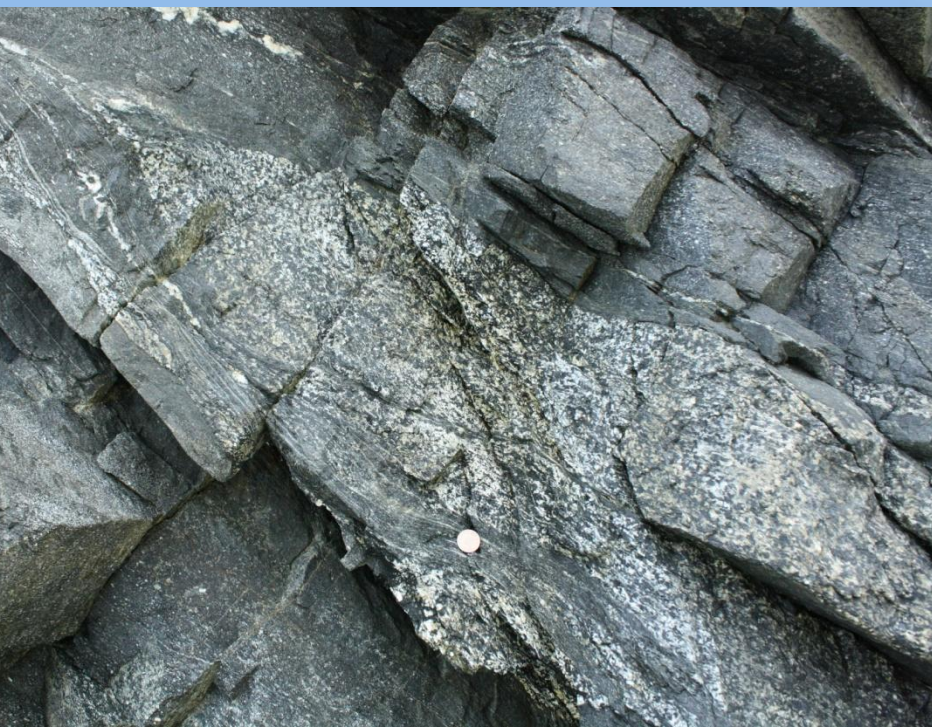


經由放射性定年，指示台灣의片麻岩曾遭受三次的熱變質作用，分別為中白堊紀的大南澳運動、古第三紀的熱變質運動及最近的蓬萊運動。

五、角閃石

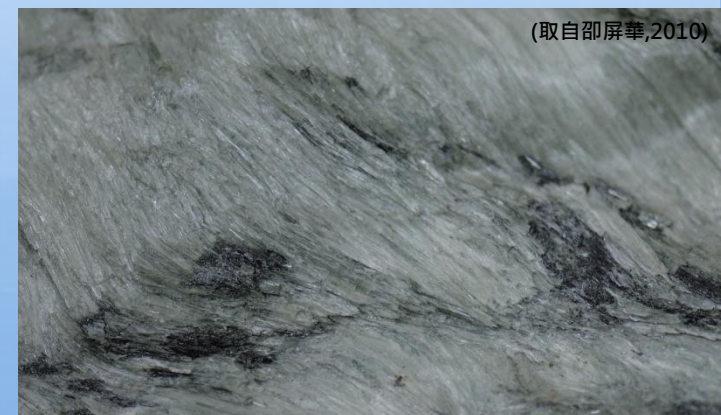
角閃岩主要分布於大南澳片岩北部南澳及東澳一帶，常呈較大的凸鏡體，多數屬於為斷層所切的構造岩塊。角閃岩呈中粒至粗粒，組織為塊狀或具有完美的葉理，其葉理面大致和圍岩的葉理面一致。所含主要礦物為角閃石、斜長石、綠簾石、斜黝簾石及少量的石英、榭石(sphene)、鈦鐵礦和金紅石，其主要原岩可能為玄武岩流及凝灰岩，局部與蛇紋岩體共生，這可以說明一部分的角閃岩可能由輝長岩或輝綠岩變質而成。據恩斯特等研究(1981)，東澳地區之角閃岩可分為三種；(1)未受熱變質的含綠色角閃石片岩，(2)受熱變質的褐色角閃石和斜輝石的角閃岩，見於正片麻岩的周圍，(3)受混合作用和鉀交代變質(含有雲母)的角閃岩。

粉鳥林角閃岩



六、基性及超基性岩石

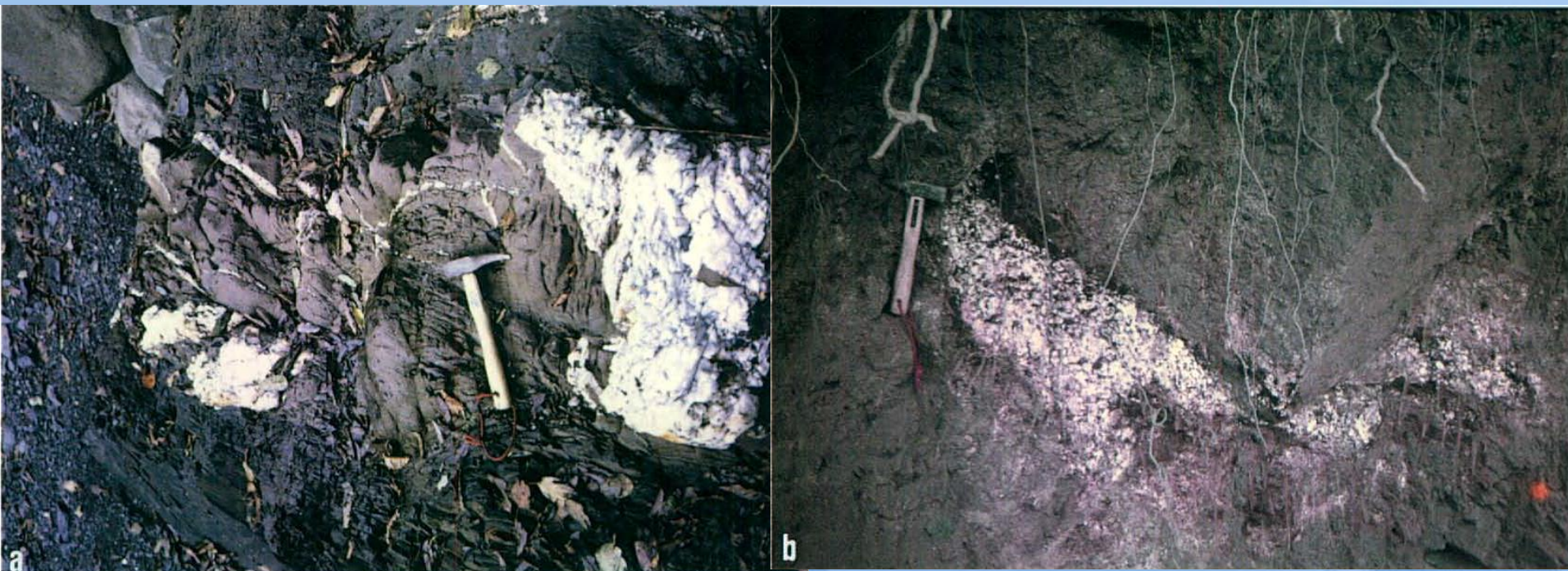
這個岩性單位包括所有可能是海洋地殼和其它變質產物的基性或超基性岩石，主要分布在玉里變質帶中。所有超基性岩石曾經過廣泛的再結晶作用而變成六種明顯的變質岩型：綠色片岩、角閃岩、綠簾石角閃岩、藍閃石片岩、變質輝長岩和蛇紋岩，蛇紋石為降質變質之產物，台灣軟玉（閃玉）礦床即形成於此類岩石之中。此類岩石如瑞穗附近，打馬燕山區的綠簾石角閃岩，可能是中生代晚期變質的古老岩石，而藍色和綠色片岩則為新生代晚期變質岩石（劉忠光，1981）。



四、偉晶花崗岩

許多不規則或凸鏡狀的偉晶花崗岩岩脈出現在東海岸東澳和南澳之間的源頭山片麻岩之中。偉晶花崗岩脈通常和片岩及片麻岩呈整接狀 (concordant)，而且和圍岩的葉理略呈平行。主要成分是石英、長石和白雲母，粉鳥林之岩脈過去曾出產電氣石。

偉晶岩脈



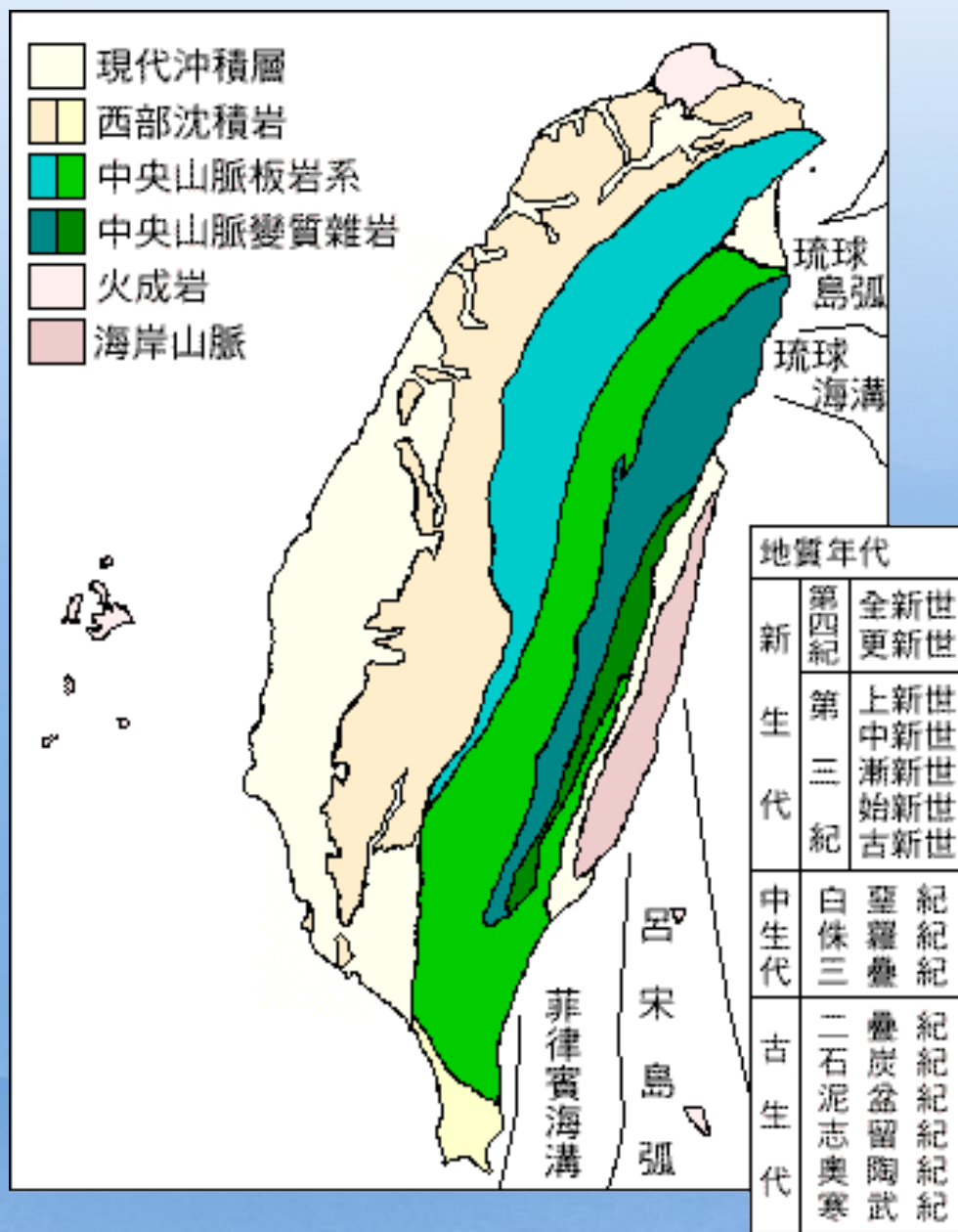
偉晶岩脈在片麻岩內的形狀多不規則，主要礦物成分是石英、長石和白雲母。

a. 為南澳四區的露頭

b. 為舊蘇花公路沿線的露頭

■ 脊梁山脈稜線西側之板岩帶

自雪山山脈西緣以至中央山脈之最高稜線之間的廣大台灣中部地區之變質岩石，可概分為兩種岩相，一是灰黑色的泥質變質岩，另一是白色至灰色變質砂岩。其中暗色之泥質岩成層巨厚，在地層上，包括有不同層次和時代，但岩性單調不易分割，以前日人地質學者籠統稱之為板岩系，顏滄波 (1970) 用板岩層 (slate formation) 一詞包含分布於雪山山脈與中央山脈西斜面及東南斜面之頁岩、板岩及千枚岩。在雪山山脈板岩層中夾有多層砂岩，其厚度在雪山山脈之南段增加。



台灣古第三紀地層名詞對比表(陳培源, 1993)

Age	北部	雪山山脈 Hsuehshan Range			脊梁山脈 Backbone Range		
		東北海岸 NE coastal area to Northern Cross-Island Highway	中橫(西段) E-W Cross-Island Hwy. Western sect.	東段 Ridge & western slope (E-W Cross-Island Hwy. Eastern sect.)	南橫 Southern Cross-Island Hwy.		
Miocene		蘇樂 Sulo Formation ¹		廬山 Lushan Fm. ¹		梅山層 Meishan Fm. ⁷ (Lushan Fm.)	
Mio-Oligo		龜山 Kueishan Fm. 澳底(Aoti Fm.)		?		禮觀層 Likuan Fm. ⁹	
Oligocene	木山—五指山層	烏來 Wulei ² Series (Wulei Group)	大桶山 Tatungshan Fm.	巴稜 Paling ⁴ Fm.	水長流 Shulchangliu Formation	缺失(Hiatus)	
			粗窟 Tsuku Fm.				四稜 Szeling Ss.
			乾溝 Kankou Fm.	白冷 Paileng ⁵ Fm.	四稜 Szeling Ss.		
				西村 Hsitsun Fm. ³	佳陽 Chjyang Fm.		大禹嶺 Tayulling Fm. ⁷
Oligo-Eocene			達見 Tachien Ss.		黑岩山 Heiyenshan Fm. ⁷	(新高層) 畢綠山 Pilushan Fm. ¹ (Hsinkao Fm.)	
			十八重溪 Shihpachungchi Fm. ^{1,6}				
Eocene						檜谷層 Keiku Fm.	
Pre-Eocene						常仕橋火山岩層 Changshihchiaio volcanics	
						向陽千枚岩=利稻層(?) Hsiangyang Phyllites (Litao Fm.)	
						大南澳群(片岩) Tananao Group	

1.Ho, 1986 2.Ichikawa, 1931 3.Ooc, 1931 4.Tu, 1990 5.Torii, 1935 6.Lee, 1976 7. Chen, 1979 8. Tan, 1944 9.Lee, 1977 10.Chen, this paper

脊梁山脈之古三紀地層

地質時代	地層名稱	組成岩層特徵	備註
中新世至漸新世	廬山層	由黑色到深灰色的硬泥岩與板岩，和深灰色的硬砂岩互層組成，含有零星散佈的泥灰岩團塊。	代表所有分佈在中央山系的脊梁山脈帶內，中新世的硬泥岩和板岩系。直接蓋覆畢祿山層。(相當部份梅山層)
始新世	畢祿山層	以板岩和干枚岩為主，有的為石英質砂岩，有的為長石質砂岩，砂岩粒度由細到粗粒，下部多板岩和石英砂岩互層。與廬山層不整合接觸。	板岩時常夾有綠色至暗紅色的火山岩凸鏡體，這是除化石(以大型有孔蟲為主)以外，認識脊梁山脈中，始新世地層的重要指標。(部份相當檜谷層)

雪山山脈北部地層

地質時代	地層名稱	組成岩層特徵	備註
中新世至漸新世	底層	枋腳段	枋腳段大部分由厚層細粒到中粒的砂岩，夾有灰黑色頁岩或碳質頁岩的互層所構成。砂岩是灰白色到青白色，每層厚約20公分到2公尺以上，常很緻密，節理很發育，而且具有一種不太清楚的帶狀構造。
		媽岡段	媽岡段厚約370公尺，由灰色細粒砂岩間夾深灰色頁岩組成，偶見不太明顯的葉理結構，砂岩部份為雲母質，含有砂棒或波痕，若干地方的砂岩含有鐵白雲石質或菱鐵礦的結核。
漸新世	大桶山層	本層的下部由暗灰色到黑色硬泥岩和顏色相近的黑色細粒砂岩或粉砂岩互層構成，上部由暗灰色堅緻的頁岩和砂質頁岩與薄層細粒砂岩或粉砂岩的互層構成，常含菱鐵礦結核。	市川雄一所創立，含較多的砂岩或粉砂岩互層，多處含狹小的玄武岩質火山碎屑岩。
漸新世	粗窪砂岩層	暗灰色厚層狀細砂岩與粉砂岩，並含有硬泥岩夾層，厚度約200公尺以上。	市川雄一所命名，僅代表大桶山層中段，較富砂岩-粉砂岩的一個岩段。
漸新世	乾溝層	硬泥岩或是板岩，黑色到深灰色，頁岩質沉積物為主，硬泥岩和板岩相當緻密，通常形成陡壁，呈現木屑狀或筆狀破裂面。	由市川雄一所建立，本層所含砂岩夾層不多，黝黑色之細砂岩頻率由下而上增加，大部分泥岩是粉砂岩質。
漸新世至始新世	四稜砂岩	由厚層灰白色石英岩狀砂岩，間夾灰黑色堅化頁岩及碳質頁岩、薄劣質煤層。砂岩中粒至細粒，含多層礫質砂岩。	大江二郎(1931)命名為四稜砂岩層，何春孫(1953)稱四稜砂岩，周瑞墩(1992)稱四稜層。
始新世	西村層	由葉理發達的深灰色板岩和干枚岩質板岩所構成，夾有暗灰色中粗粒堅硬的石英砂岩互層。	雪山山脈帶北部出露的最老地層。

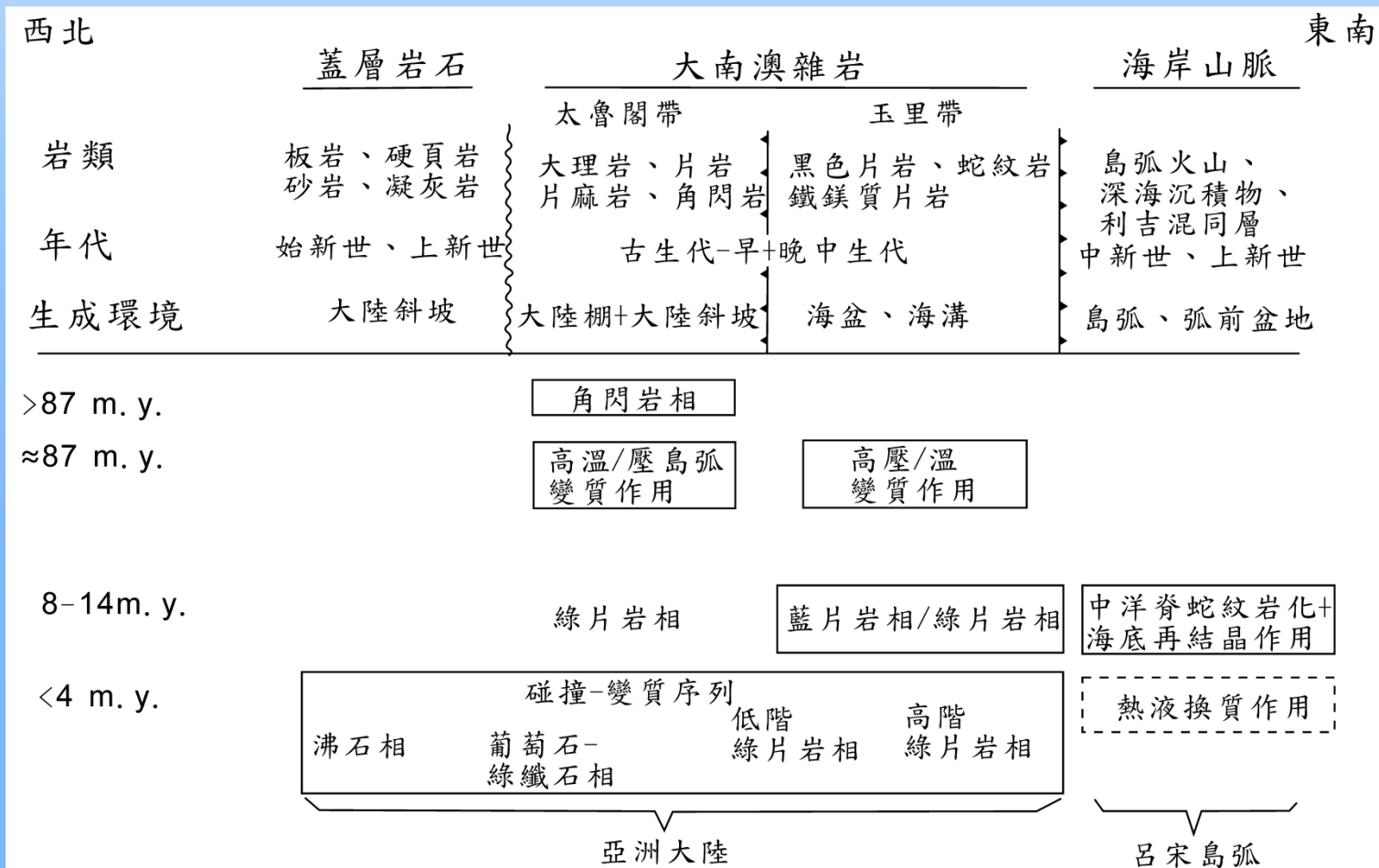
雪山山脈中部及南部地層

地質時代	地層名稱	組成岩層特徵	備註
漸新世	水長流層	組成岩層以黑色硬泥岩和輕度堅化的頁岩為主，顏色灰黑(本層相當於北部的大桶山層)。很緻密，節理很發育，而且具有一種不太清楚的帶狀構造。	水長流層的岩性十分單調，也不容易找到清楚的層準，本層含有 Gaudryina hayasakai 化石，是和以黑色頁岩質板岩為主的佳陽層分別的地方。
始新世	白冷層(狹義)	為白色或灰白色，細粒到粗粒的石英岩質緻密砂岩和深灰色硬泥岩或板岩的互層。	鳥居敬造首先提出來，白冷層缺少可定年的化石，可對比佳陽層與眉溪砂岩。
	眉溪砂岩或四稜砂岩	由層理良好的灰色細粒堅硬砂岩以及砂岩、黑色硬泥岩互層所組成，夾有薄層碳質頁岩，砂岩多具泥質。	在本層頂部有一層厚1~5公尺的石英礫岩狀砂岩，含有許多米粒般的石英礫，並常有貝類化石。此層石英礫所成的砂岩為野外認識眉溪砂岩的重要指標。
	佳陽層	由厚層板岩組成，夾有少量細粒砂岩或粉砂岩，板岩劈理甚為發達，板岩中夾有少許燧石團塊，層中所夾的砂岩由東向西遞增，但是地層厚度由東向西遞減。	陳肇夏所命名。
	達見砂岩	由白色或淺灰色，中粒到粗粒石英岩狀砂岩組成，呈厚層或塊狀；夾有薄層至厚層板岩或變質頁岩互層，頁岩有時略含碳質，全厚可達2700公尺(?)。	陳肇夏所提出，本層下部的綠色砂岩為達見砂岩的重要指標。
	十八重溪層	由黑色到暗灰色板岩所組成，其中夾有薄層變質砂岩，以及板岩和變質砂岩所成黑白相間的薄葉互層，為其主要岩層特徵。	這是玉山山脈帶中出露的最老地層，為李春生所命名，有火成岩體的侵入，以變質輝綠岩為主。

台灣變質作用的演進過程

劉忠光和恩斯特 (1984) 對台灣顯生元地層中發生的變質作用曾作綜合性的探討，他們認為各期中所發生的變質作用並非完全同時的，以下把各期的變質作用一一說明：

台灣顯生元地層中的變質事件摘要圖(劉忠光、恩斯特，1984)



■ 中生代變質作用

台灣現今能夠追尋的古老變質跡象只有見大南澳變質雜岩中，可以分為三個時期：

一、**角閃岩相變質作用（前於 8700 萬年之變質作用）**：大南澳變質雜岩基盤岩最北端的蘇澳—南澳區，有**角閃岩所構成的岩塊**，被年齡約 8700 萬年的**花岡岩侵入**，因此，此角閃岩、大理岩組成的圍岩的年齡應比花岡岩老，可能是**台灣最老的變質岩**。依南澳地區之角閃岩之地球化學性質，推斷其原岩可能為海洋性的矽質玄武岩。

二、**中生代晚期混合岩化作用和高溫低壓火山弧變質作用**：**在中生代晚期有鈣鹼花岡岩侵入太魯閣帶的岩層和上述的角閃岩中**，造成**高溫低壓火山弧變質作用**，並有混合岩化作用和角閃岩升級變質作用。此外，在此時期的太魯閣帶上的變質作用，又可分為三次再結晶作用，分別是早期的角閃岩相區域變質作用、其後的綠色片岩相後退變質作用及變形作用，大部分片麻岩含有高級綠色片岩相之礦物組合。

三、**中生代晚期隱沒帶變質作用**：約在八千萬年前，不僅發生上述的太魯閣帶火山弧變質作用，也**同時發生玉里帶的高壓低溫隱沒帶變質作用**，使玉里帶中的泥質填充物和海洋性外來岩塊發生重複變形和再結晶作用。此外，沿著向西傾沒的古太平洋隱沒帶，同時發生藍片岩相和角閃岩相的變質作用。但其中仍有因後期變質所添加的礦物組（圖 21-8）。

總之，此時期的變質作用造成大南澳片岩中的高溫低壓太魯閣帶和高壓低溫的玉里帶，二者共同組成**成雙變質帶**。相對於此時期的台灣造山運動是**南澳運動**。南澳運動大約發生在中生代中期或晚期，先第三紀地槽沉積物受到構造變動，而形成歐亞大陸板塊上第三紀褶皺衝斷帶的變質基盤，即南澳運動是大南澳變質雜岩和第三紀硬泥岩及板岩所組成的蓋層間的造山運動。而此時期可對比**中國大陸的是很重要的燕山運動**，燕山運動發生在侏羅和白堊二紀，除褶皺、逆掩等運動外，並有粗面岩、流紋岩、安山岩和玄武岩等熔岩流，及其集塊岩和凝灰岩的噴出，亦有廣泛的燕山花岡岩及較次的輝長岩等之侵入活動。

■ 古第三紀和中新世變質作用

一、**綠色片岩之再結晶作用**：在三千五百萬年前到六千萬年以前，（太平運動期間？）大南澳片岩又發生綠色片岩相變質作用。約在八百萬年到一千萬年以前，大南澳片岩中又發生第二期隱沒帶變質作用，使玉里混同層發生再結晶作用，而產生疊加的綠色片岩變質相。（相近澎湖玄武岩噴發時期）。

二、**台灣東部蛇綠岩系的再結晶作用**：海岸山脈之台灣東部蛇綠岩系在中新世早期到中期，受到南海中洋脊轉形斷層的影響而變質產生蛇紋岩化。此外，在中新世晚期到上新世早期時，又受到海底的換質再結晶作用，使頂部岩石產生低度變質礦物。總之，此中新世晚期的變質作用，造成了低級綠色片岩變質相，重印在玉里層岩性之上，而太魯閣帶岩層也發生綠色片岩相的再結晶作用。

相對於此時期的造山運動爭論頗多，早期學者認為在中新世中期有一造山運動 - **埔里運動**，此乃因中央山脈中較古老的第三紀板岩帶（例如中新統廬山層）不論在岩性和構造上都和西部麓山帶中，未變質較新的第三紀沉積岩不同，因此推論較古的第三紀岩層（如始新至漸新統）受到此造山運動而變質之後，西部較新的第三紀岩層才沉積下來。

■ 上新-更新世碰撞型變質作用

約在四百萬年前，就是上新 - 更新世時，歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊在台灣東部相碰撞，使大南澳片岩基盤和它上覆的第三紀蓋層發生漸進型變質作用，變質作用由西向東逐漸增高，即由西部山地經過中央山脈的西翼，再向東翼的基盤岩系漸次增高其變質相。

相對於此時期的造山運動是台灣造山運動中最重要的**蓬萊造山運動**，這個強烈的造山運動是在歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊聚合的過程中的衝撞造成，而此運動在台灣西部開始於上新世結束時，至更新世進入高潮，在更新世中期達到最高潮。在高潮期中，西部麓山帶地槽沉積盆地崩解，盆地內的沉積岩因受到褶皺與斷層作用逐漸形成山脈。蓬萊造山運動不僅影響台灣西部的第三紀岩層，更加印一次綠色岩相的變質。東部變質雜岩系也都受到波及，先第三紀基盤在本運動中可能也有活化現象。先第三紀的結晶基盤在此次造山運動中，被帶上來而出露在中央山脈的東斜面，發生低度變質作用。就台灣全區的變質度而言，所呈現的程度也是由西往東提升。以台灣北部的變質順序為例，則從沸石相經過葡萄石綠纖石進展到綠片岩相（圖 21-7）。

參考文獻來源

http://content.edu.tw/senior/earth/tp_ml/twrock/class3/class3.htm

- 陳培源(2008)台灣地質，省地質公會。
- 莊文星(1999)臺灣之火山活動與火成岩，國立自然科學博物館。
- 陳肇夏(1998)臺灣的變質岩，地質調查所。
- 王執明、藍晶瑩(1995)臺灣的片麻岩，地質調查所。
- 陳培源、劉德慶、黃怡禎，臺灣之礦物(1994)臺灣之礦物，地質調查所。
- 陳肇夏、王京新(1995)，臺灣變質相圖說明第二版，地質調查所。
- 邵屏華、張郁生、盧復順(2010)，台灣的蛇紋岩，地質，地質調查所。
- 曾保忠、張郁生、蘇義松(2010)，台灣蛇紋岩之開採，地質，地質調查所。

輝綠岩

台灣東北部南澳及蘇澳一帶的變質岩系中有許多基性岩脈，多見於角閃岩、片麻岩及變質泥質岩中，平行或斜切圍岩的葉理面，其一般特性為多呈塊狀，缺少明顯的葉理狀岩理，較厚岩脈具有局部的冷凝邊緣，其主要含陽起石、綠泥石、鈉長石、綠簾石、榭石等主要礦物，其生成時期可能較晚之第三紀，其中僅受綠色片岩相之變質。