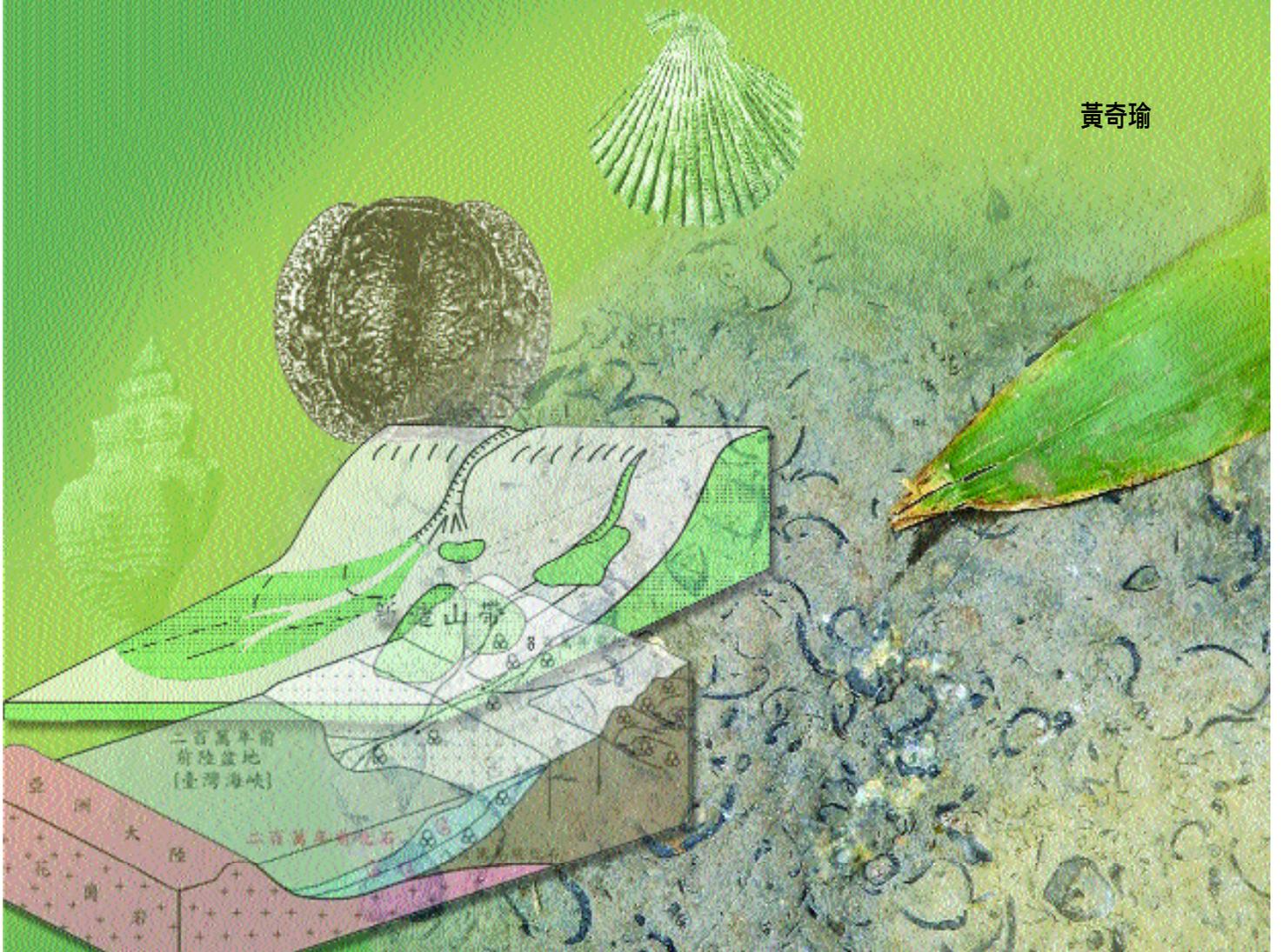


化石與地質分析

對於地質的結構、年代、演化、地層的分析，除了用各種定年法、地層比對來解釋地殼的演變與屬性關係外，利用地層中生物化石的種類分布、層序關係，則能夠讓判斷更為正確。

黃奇瑜



物種演變的不可逆性

化石是1萬年前或更早的生物，死亡後埋藏並保存在地層中的個體或其遺跡。由於生物的演化持續進行，生物的種類也隨著時間不斷地改變。生物演化的不可逆性，使得任一生物物種出現在地球上，只能持續一段地質時間，依物種的不同，這段時間平均約2.5 5百萬元，然後就絕滅。因此在往後的地質時代中，就不會再出現外形一樣、組織器官發生來源與功能也完全相同的物種了。利用這個生物存續的特性，古生物學家得以鑑定化石產出地層的地質年代。

另一方面，地層疊置法指出層序越下的地層，形成的年代越老，也就是說老地層位於年輕地層之下。相對地，層序越下的地層中所含化石的內容與外形，與層序越上的化石差異越大。因此，地層古生物學能藉以辨認地層層序的上、下與地質時代的新舊。



豆齒龍化石 豆齒龍是中生代三疊紀時期的生物，外形有點像龜，但是兩者沒有關係，牠和幻龍類、蛇頸龍等海生爬行動物較有親緣類系關係，其化石分布在現今歐洲、中東、北非和大陸貴州西南一帶，那些地方在三疊紀時是靠近岸邊的淺水海域。

化石是1萬年前或更早的生物，死亡後埋藏並保存在地層中的個體或其遺跡。由於生物的演化持續進行，生物的種類也隨著時間不斷地改變，利用這個特性得以鑑定化石產出地層的地質年代。

化石的產狀

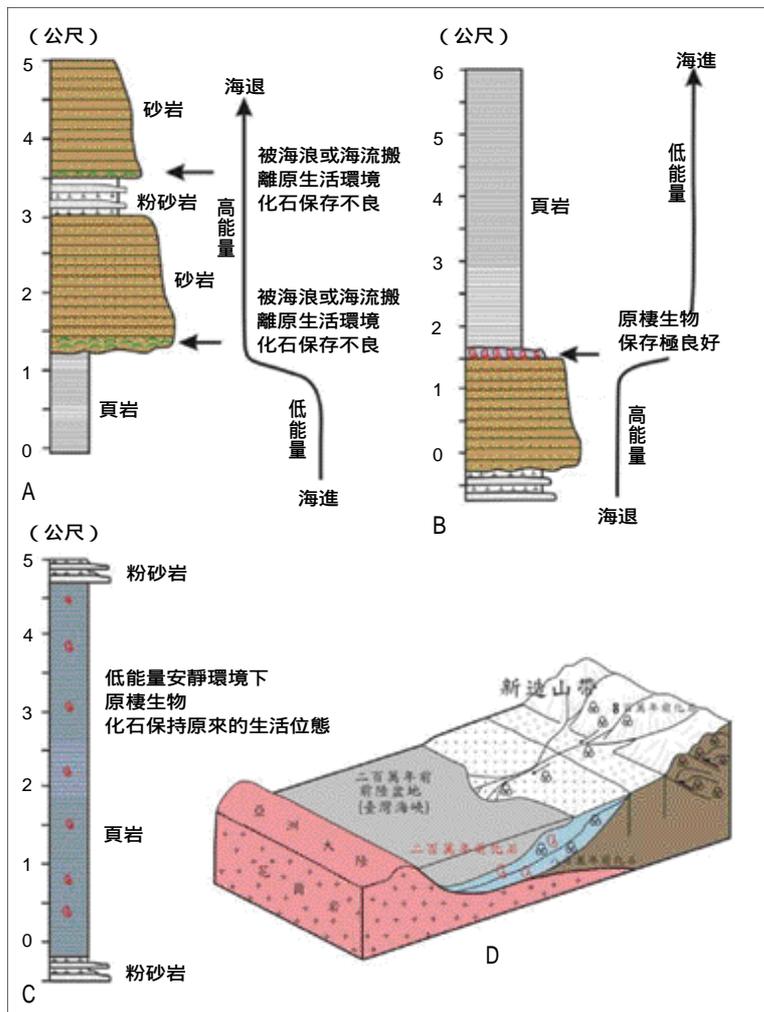
化石在地層中的位置、保存狀態、以及與地層岩性的關係稱為產狀。根據化石的產狀，可以顯示該化石是「生於斯，死於斯」，或者是「生死異處」，甚至可用來辨認來自不同地質時代的化石。化石的產狀

對了解化石的含意關係至為重大。台灣地區西部麓山帶、雪山山脈及小部分恆春半島，以碎屑岩



海百合化石 海百合是生活在海洋中，外形長得像植物的動物，牠的化石在古生代地層中特別多。現生的海百合綱動物有兩類，一類是有長柄，可固著在深海軟泥或沙質海底中的柄海百合類（圖中所示是其中一種的化石），一類是沒有柄，能自由移動的海洋齒類。台灣附近海域紀錄中並無海百合，據說屏東東港、宜蘭大溪和南方澳的底拖漁獲中有時可發現牠的殘缺標本。

化石與地質分析



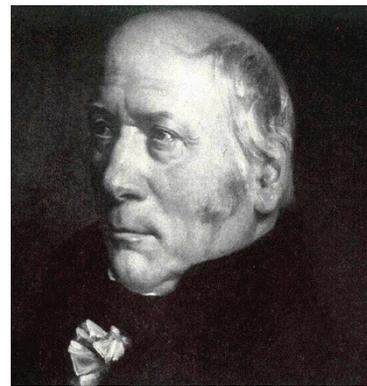
台灣海岸平原、西部麓山帶、雪山山脈及小部分恆春半島以碎屑岩為主的淺海相地層中，常見的4種化石產狀。(A)化石經過搬運(生死異處)，(B)原地化石，(C)保持原生活姿勢位態的原地化石，以及(D)再沉積化石。

(即砂岩、頁岩)為主的淺海相地層中，化石的產狀大致可分成4種。

第一種是化石位於厚砂岩層底部，且化石破碎。這類生物原本不是生活在化石產出的位置(指恢復為未造山前的原來沉積位置)，而是在淺海、高能量的物理條件下，被海浪、海流搬運、淘選後，在海洋能量逐漸減小時，因化石的重量較砂泥大，於是先沉積下來，隨後較細的砂、粉砂、泥才相繼沉降，形成岩性顆粒由

粗向上變細的地層(相對物理能量向上減弱)。在這種產狀下，化石較大，而且大都被波浪、海流破壞，外型相當破碎，這是典型的「生死異處」，但這些生物被搬離其原生活的地方並不會太遠。

第二種是化石位於厚砂岩層頂部，且被厚頁岩層所覆蓋，化石保存良好。這類生物原本生活在化石產出的沉積位置，在海浪、海流的高能量環境下，沉積了厚層砂岩，當海洋營



史密士 史密士(William Smith, 1769-1839)是英國著名的地質學家，也是世界上第一個按照沉積岩中所含動物和植物化石來決定地層順序的人，被公認為「地層學的奠基者」。

力能量逐漸降低到相對穩定時，生物就在這種穩定環境下生存。因為破壞、干擾生物生存的海洋營力能量減小，海洋中細顆粒的泥逐漸沉積，尤其在隨後發生海進時，細顆粒的泥快速沉積於生物群之上，使生物被覆蓋而死亡。

因為是在海進的初期發生，這些生物體被泥岩覆蓋而獲得妥善保護，因此化石保存極為良好，例如雙殼類貝類化石的兩瓣還完全閉合。這類化石常形成一化石密集帶，是生於斯、死於斯的原產地生物群化石。

第三種是化石分散在粉砂或頁岩層中，且保存良好，甚至仍保持其生存時原有的位態。這類生物原本生活在諸如石灰岩礁陸側的半封閉潟湖等相當穩定且安靜的海洋環境中，由於受到海洋破壞性的能量很小，因此化石不但保存良好，且能保持其原來活著時候的姿勢位態。

第四種是老化石再沉積。海洋沉積岩層經過地殼變形、造山而露出地表，開始受到侵蝕。沉積物及其中所



http://www.deipiano.com/millemium/html/body_fracture.html

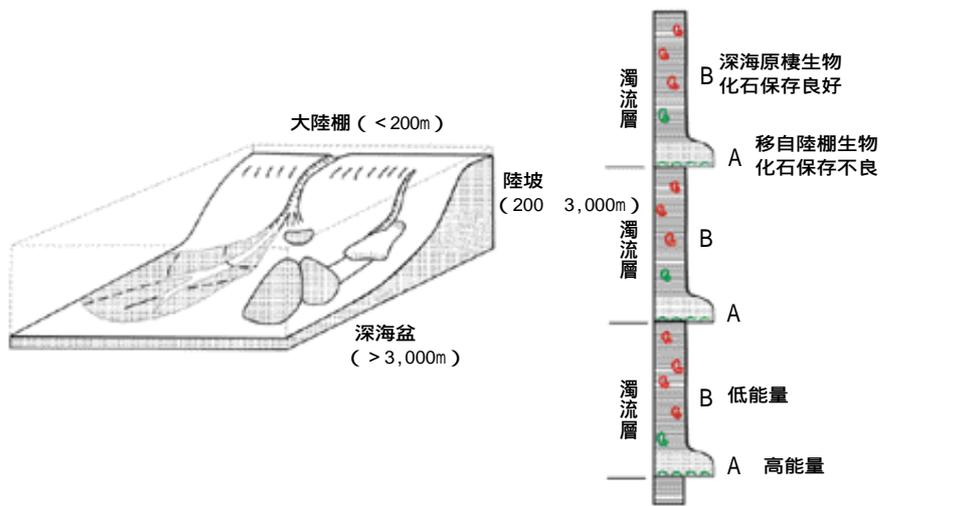
化石在地層中的位置、保存狀態、以及與地層岩性的關係稱為產狀。根據化石的產狀，可以顯示該化石是「生於斯，死於斯」，或者是「生死異處」，甚至可用來辨認來自不同地質時代的化石。

含的化石，被河水攜帶到地勢低窪的氾濫平原及臨近的海洋再沉積。這些由山脈侵蝕而來的 8 百

萬年前老化石，再次沉積於較年輕的 2 百 萬年前地層中，這些老化石雖然不能用於了解化石的原來生態，卻提供了年輕地層沉積物的來源及盆地形成的歷史。

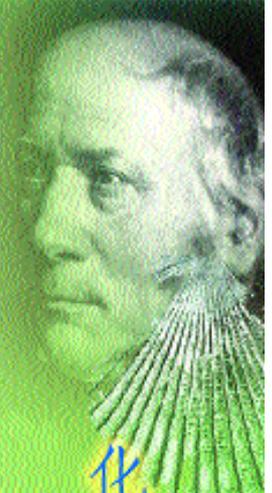
另外，在中央山脈西斜面、恆春半島及海岸山脈深海相沉積的濁流層裡，有 2 種化石產狀。一種是化石位於濁流層下側粗顆粒的底部（A 產狀），另一種是化石位於濁流層上側的細顆粒中（B 產狀）。

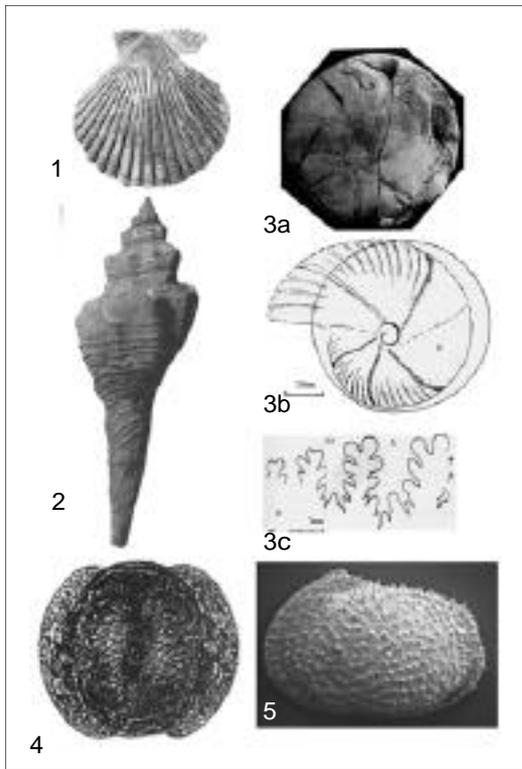
濁流層是重力流所造成的沉積，當大陸棚上



左圖顯示的是深海環境下濁流層形成的機制，圖中距離是海面下深度。右圖顯示的則是濁流層序中化石可能出現的 A 及 B 兩種產狀，圖中顯示濁流層序重複出現，每一次濁流層沉積厚度不等，約數十公分到數公尺厚，時間間隔約數年到數千甚或數萬年。

化石與地質分析





台灣海岸平原、西部麓山帶、雪山山脈常見的新生代和中生代化石種類，包括（1）軟體動物的斧足綱（貝類），（2）軟體動物的腹足綱（螺類），（3）軟體動物的菊石綱（台灣海岸平原北港附近地下中生代化石），（4）花粉，以及（5）節肢動物的介形蟲。（圖中各化石的放大比例並不相同）。

的沉積物逐漸增加，以致達到不穩定狀態時，一旦受外力作用，例如受地震搖動，沉積物瞬間由淺海區滑到深海環境，或因陸上河流入海後形成海底峽谷，繼續往深海盆輸送沉積物，造成砂、泥、海水混雜一起的重力流。當重力流到達坡度較小的深海區時，動能漸失，粗顆粒先沉積，而後細顆粒，在濁流動能漸小或停止後，海洋中懸浮物及微體化石才慢慢沉積。

在濁流層粗顆粒底部，一般是來自淺海區、且體積較大的軟體動物化石碎片或

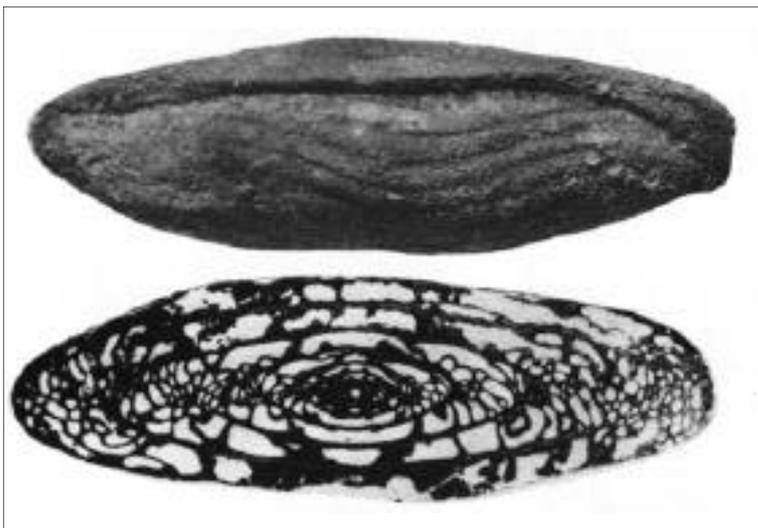
有孔蟲化石，化石被濁流淘選後，反而相當密集，但也常因被濁流搬運過而保存不良。相對地在濁流動能漸小或停止後，泥及海洋中微體生物慢慢沉積下來，於是有生活於深海海床上的生物，在濁流層泥層部分保存下來，如體積較小的有孔蟲化石。因此濁流層的上部含有較多在深海環境生活的生物化石，化石保存也較良好，但在泥層的下部接近濁流層的砂層部位，可能還有源自淺海區的破碎化石。

台灣地區常見的化石

台灣位處亞洲大陸邊緣，是亞洲大陸東南側最年輕的造山帶，70%以上面積被新生代海相地層所覆蓋，因此台灣地區的化石主要是距今 6,500 萬年以來的新生代海相化石。

台灣的山脈可以分成海岸平原、西部麓山帶、雪山山脈、中央山脈及海岸山脈。在西部麓山帶、雪山山脈新生代地層中，常見的淺海相化石如軟體動物的斧足綱貝類和腹足綱螺類、腔腸動物的珊瑚、節肢動物的蟹及介形蟲、棘皮動物的海膽、植物的藻類及花粉、孢子、樹葉、樹幹化石。另外肉眼看不清楚，必須借助顯微鏡才能觀察的單細胞動物（有孔蟲）也非常豐富。

中央山脈的西斜面、恆春西台地及環礁除外的恆春半島及海岸山脈（除石灰岩外），幾乎很少發現軟體動物或棘皮動物化石，但有孔蟲化石卻極為普遍。因為上述地區過去主要是深海環境，有極厚的濁流層沉積，因此生活於淺海環境的軟體動物或棘皮動物，自然不見於上述地層中。



石炭紀保存良好的蜓科有孔蟲化石（上圖是外形，下圖是平行化石長軸的切片，化石原尺寸約如米粒大小），這化石非台灣產。

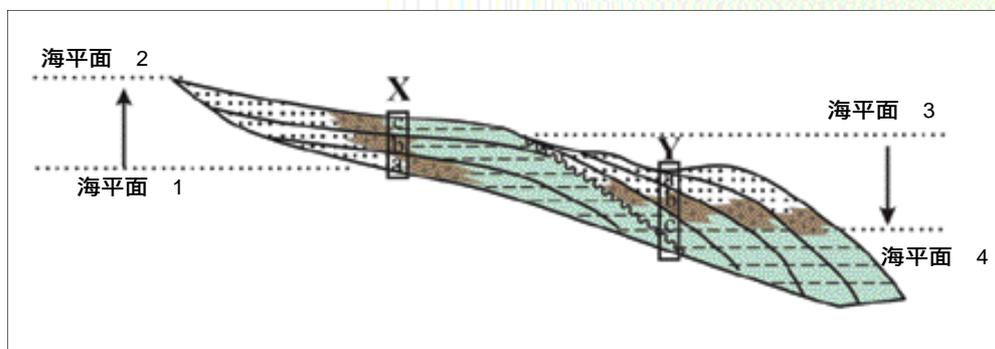
中央山脈東斜面的地質，原來深埋於山脈深處，在溫度、壓力較高的地質條件下形成了變質岩，然後在近3百萬年內，自山脈深處經剝蝕隆升後出露。在變質過程中，絕大部分化石經化學及物理變化，破壞了原來的生物結構，因此極少在這種地質中發現化石。在西部海岸平原地層的鑽井紀錄中，也曾發現有晚中生代軟體動物菊石類化石。

台灣地區最古老的化石

台灣地區已知最古老的化石，是50年前地質界前輩前台灣省地質調查所顏滄波教授所發現報導，產自中央山脈東斜面大南澳群變質岩的大理岩中，包括石炭紀末到二疊紀（約320-245百萬年前）的蜓科有孔蟲及少量珊瑚化石。

由於中央山脈大南澳變質岩的前身，是緣自中國大陸東南的大陸地殼，在中新世中期（約16-15百萬年前）被以南海張裂的海洋地殼為前導牽引，一起沿馬尼拉海溝向東隱沒於菲律賓海板塊之下，再於5百萬年前因中央山脈增積岩體受侵蝕隆升後，而有機會在3百萬年前出露於中央山脈東斜面。這些變質岩早期在中國大陸東南部存在時，就已先受過一次變質作用，在16-15百萬年前，自隱沒作用發生到最後抬升出露期間，又遭受一次退變質作用。因此絕大部分的古生代化石都遭受破壞，不易被保存下來。

由岩性層序產生的誤判



海平面升降會影響地層層序的物理性質及化石內容，圖左海平面上升時，沉積顆粒向上變細，淺海相化石逐漸被深海相化石覆蓋，圖右海平面下降時，沉積顆粒向上變粗，深海相化石逐漸被淺海相化石所覆蓋。

生物的演化結果使得一個生物種在地質時代上只能持續一段地質時間，當這個生物種絕滅了以後，再也不會出現相同的物種了。同時生物的系列性宗族演化，使得某些物種彼此在地層出現的先後時間關係，有一定的次序。利用化石在地層中出現的次序與時間，古生物學者能在相隔遙遠的兩個地方，判定這二地層是否屬同一地質時代，這樣的工作稱為地層對比。

由於在同一地質時代，甲、乙兩地可能相隔數十公里或上百公里，兩地的沉積環境可能不同，因此岩性也可能有所差異，導致很難判別甲、乙兩地層間的關係。除非有詳細的古生物學研究，否則單依賴岩性層序，往往會發生誤判。

化石與地層變化的關係

在穩定大陸邊緣（如台灣海峽）的沉積地層，受海平面升降的影響甚鉅，不但所沉積的岩層，如砂或泥會改變，岩層中的化石組成也會跟著改變。當全球海平面上升時，海岸線往內陸方向移動，由高能量環境帶動的粗顆粒砂沉積在海岸附近，而粉砂及泥，相繼在海能量較小的外海沉積。隨著海岸線向陸地方向移動，沉積相也向陸地方向移動，生活於其中的生物種類也隨著改變，當海岸線內移時，深海生物群化石會蓋在淺海生物群化石之上。多次的海平面上升，會顯示顆粒向上變細，生物相變深。

反之，全球海平面下降時，海岸線往海洋方向移出，原本在較深海環境（如上陸坡300-500

公尺水深) 沉積的泥質, 逐漸被粉砂及海岸粗砂所覆蓋。因此在造山之後岩層出露, 會顯示層序向上變粗, 深海相化石逐漸被淺海相化石取代。因此根據穩定大陸邊緣沉積的地層及其中所含化石內容, 常可反應全球海水面升降或海進、海退的歷史。

在不穩定的大陸邊緣(有海溝存在, 如台灣-呂宋間海域), 地層一般是沉積在深海的濁流層, 受到全球海水面升降的影響很小, 但因為沉積所在的地殼不穩定, 所以地層內的化石組合, 受到地殼構造運動的影響較大。例如台灣東部的海岸山脈, 以及

化石的產狀反映生物死亡後是否曾被搬離其原來的生活環境, 且可用於了解化石形成時的海洋環境, 包括當時的海洋物理營力大小、盆地的特徵、地殼運動時間及造山過程。



東部海岸山脈秀姑巒溪口層序 (上圖) 在火山岩層序之上, 不整合發育出淺海相環礁石灰岩(5.2 百萬年前, 水深 < 50 公尺)。(下圖) 淺海相環礁石灰岩之上, 不整合覆蓋著深海相濁流層(3.5 百萬年前, 水深 1,500 - 2,000 公尺), 圖中二層幾成垂直, 由於取景角度, 致有上下顛倒的錯覺。

位於秀姑巒溪口長虹橋基座, 該處的淺海相港口石灰岩被深海相的濁流層直接覆蓋。

5 百萬年前的港口石灰岩, 原本是呂宋火山島弧中的奇美火山島(類似今日的綠島或蘭嶼) 停止噴發後沉積的石灰岩, 含有淺海相的珊瑚、海藻、以及大型有孔蟲化石, 代表水深小於 50 公尺的生物。

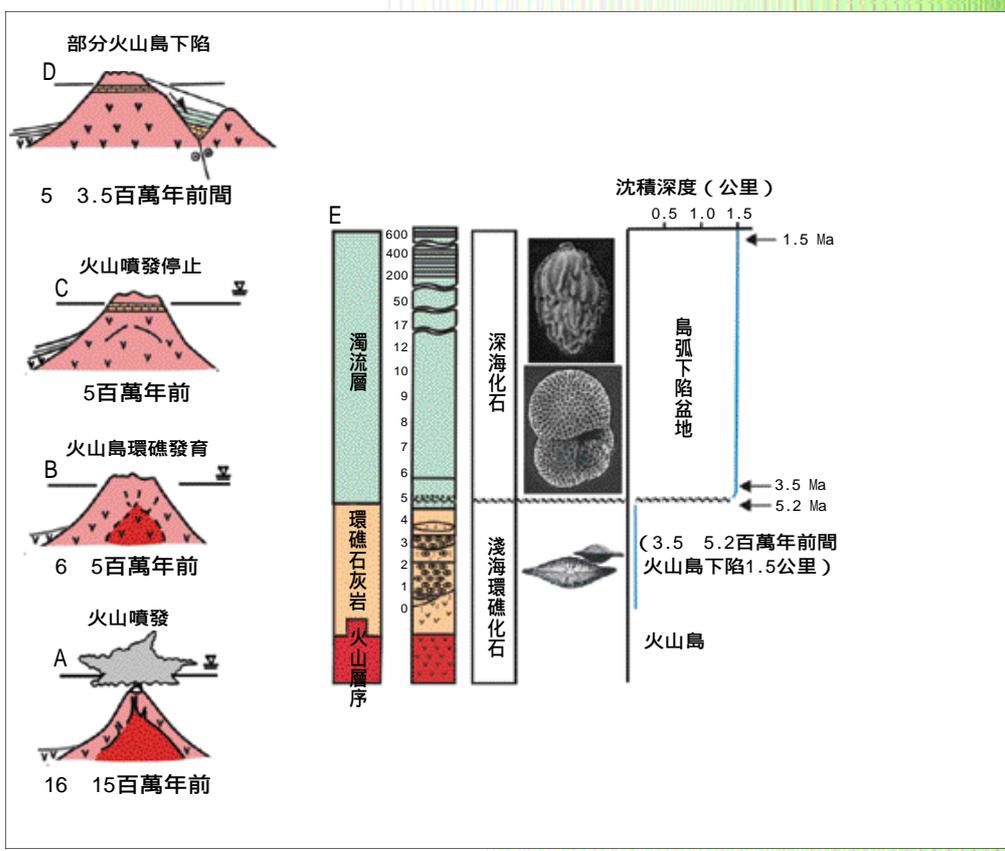
但是港口石灰岩卻直接被大約沉積在 1,500 - 2,000 公尺水深, 3.5 百萬年前, 內含大量深海底棲有孔蟲化石的濁流層所覆蓋。這是由於奇美火山島與歐亞大陸斜向碰撞, 導致在奇美火山島內發生拉張作用, 使火山島的一部分環礁在 5 百萬年到 3.5 百萬年前下沉了約 1,500 公尺, 因而在淺海相的港口石灰岩環礁上覆蓋深海相的濁流層。

地質分析的另一項指標

化石的產狀反映生物死亡後是否曾被搬離其原來的生活環境, 且可用於了解化石形成時的海洋環境, 包括當時的海洋物理營力大小、盆地的特徵、地殼運動時間及造山過程。台灣地區常見的海相化石有貝、螺類(軟體動物)、珊瑚(腔腸動物)、海膽(棘皮動物)、介形蟲(節肢動物)、有孔蟲(單細胞動物)。根據這些化石在地層中出現的先後, 能夠了解台



化石與地質分析



東部海岸山脈秀姑巒溪口，由火山層序經環礁石灰岩到上覆濁流層序中，化石所揭露的地殼運動歷史。(A) 火山爆發，(B) 火山活動停止，(C) 發育環礁石灰岩，(D) 部分火山島下陷，(E) 由秀姑巒溪口層序及其中所含的化石，推測沉積的深度以及火山島的地殼活動史。



攝影：張志銘

魷化石 魷的身體扁平寬大，呈扇形或菱形，尾巴細長，遠看像一個大風箏，在分類上是軟魚類亞目，全世界共有6個科158種，其中除深水尾魷科台灣沒有外，其他5科台灣都有。魷常常只露出兩眼和呼吸孔，把自己隱藏在砂泥中，並用守株待兔的方式捕食漫不經心的生物，如蝦、蟹、軟體動物、魚類及蠕蟲等。

灣地層沉積的時代，並和其他區域的地層進行比對。

地質學家對於地殼的變動、相互間作用的關係、以及演變的過程，雖然可以從許多方法判斷地層的年代，如古地磁定年法、地層對比法、放射性元素定年法、核飛跡定年法，如果能再運用地層中各種化石的種類、成分，做進一步的比對，將能夠更正確地分析各種地質的成因與相互關聯。

黃奇瑜
成功大學地球科學系