

磁生物地層：測定沉積地層年代的利器

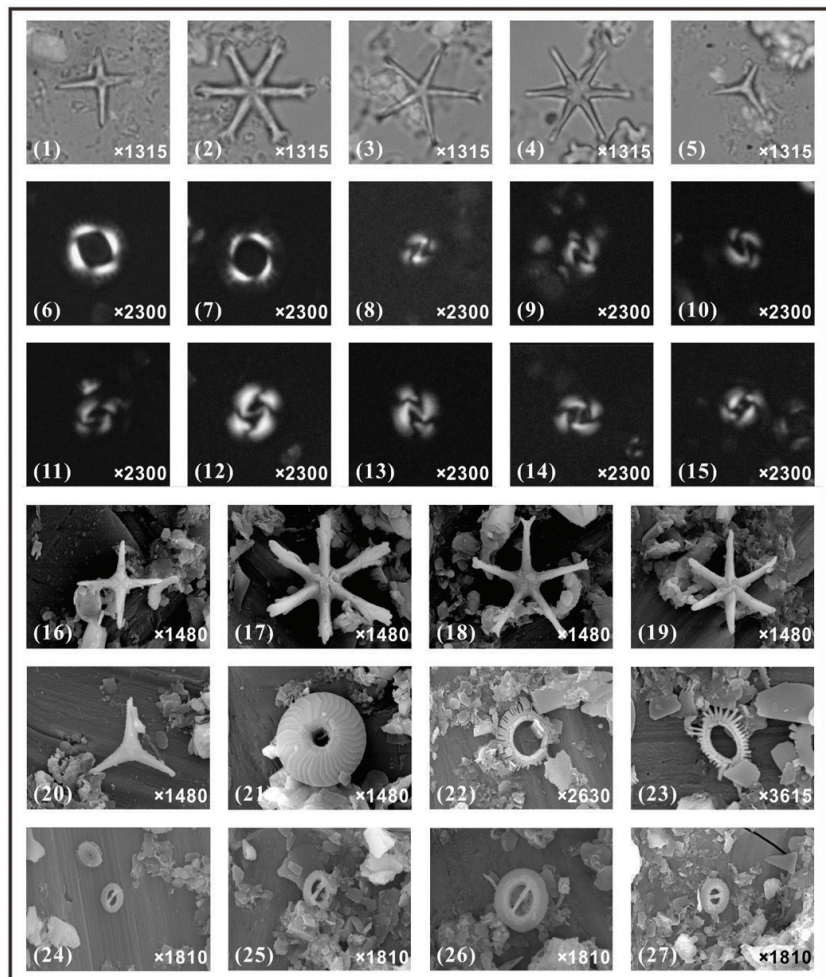
文◎ 洪崇勝

地質年代是地球歷史事件的時間單位，本文簡介如何透過生物地層學、磁地層學及磁生物地層學的研究決定沉積地層的年代。

生物地層學 (biostratigraphy)

由於地球上的生物在不同地質時間會演化出不同的物種，生物地層學是藉由沉積地層中所埋藏不同物種的化石來釐清地層形成的先後年代，例如看見含有三葉蟲的地層即可推知此地層形成於古生代（約5億2千萬年前至2億5千萬年前），而看見含有哺乳類化石的地層則可推知地層年代屬於新生代（約6千6百萬年前迄今）。

生物地層學萌芽於19世紀初期，地質學家利用它將相隔兩地的沉積地層進行比對，一旦兩地層含有相同化石，則據此認定兩者有相同的地質年代。用來做為生物地層對比的化石，通常是具有年代指標意義的指準化石(index fossil)。具備指準化石的條件之一是它的地理分布要十分廣泛，才容易在世界各地的地層中尋獲以便進行比對。指準化石的另一條件是能快速演化出不同物種，如



過去300萬年以來具有年代指標意義的鈣質超微化石之光學顯微鏡（1至15）及掃描式電子顯微鏡（16至27）照片，其始現面或終現面年代資料示於第52頁圖表，照片上數字為放大倍率。(1) *Discoaster tamalis*、(2) *Discoaster surculus*、(3) *Discoaster pentaradiatus*、(4) *Discoaster brouweri*、(5) *Discoaster triradiatus*、(6-7) *Pseudoemiliania lacunosa*、(8) small *Gephyrocapsa*（小於4微米）、(9-11) medium *Gephyrocapsa*（4-5.5微米）、(12-13) large *Gephyrocapsa*（大於5.5微米）、(14-15) *Gephyrocapsa* sp.3。(16) *Discoaster tamalis*、(17) *Discoaster surculus*、(18) *Discoaster pentaradiatus*、(19) *Discoaster brouweri*、(20) *Discoaster triradiatus*、(21) *Calcidiscus macintyreii*、(22) *Pseudoemiliania lacunosa*、(23) *Emiliania huxleyi*、(24) small *Gephyrocapsa*（小於4微米）、(25) medium *Gephyrocapsa*（4-5.5微米）、(26) large *Gephyrocapsa*（大於5.5微米）、(27) *Gephyrocapsa* sp.3。

洪崇勝

中央研究院地球科學研究所副研究員，專長於古地磁學。

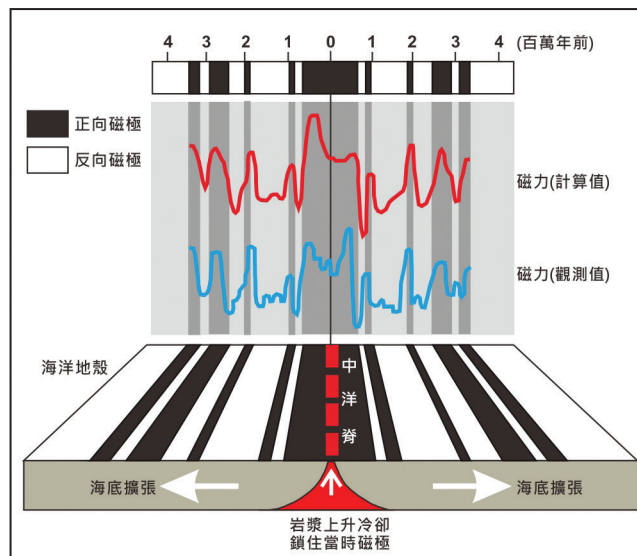
此則可將地層所代表的地質時間限縮在某一短期的時段內，以便提高地層對比的精準度。

指準化石可以是肉眼即可辨識的大型化石，如古生代的筆石或中生代的菊石，或是需要借助顯微鏡觀察的微體化石，例如浮游性有孔蟲(foraminifera)、鈣質超微化石(calcareous nannofossils)等。但無論如何，生物地層學基本上僅能依據地層疊置的上下關係提供地層序列「相對」的時間先後，它並無法像放射性定年般能提供「絕對」的數字化地質時間。

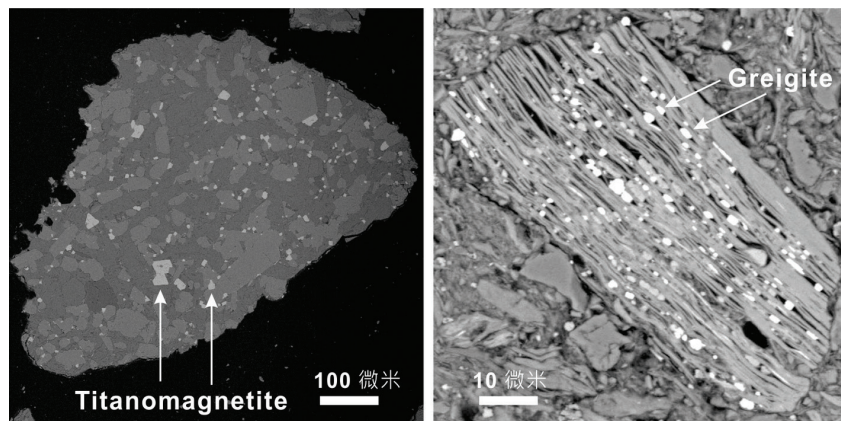
磁地層學 (magnetostratigraphy)

磁地層學是20世紀60年代之後所發展出來的另一類地層學，隸屬古地磁學(paleomagnetism)的範疇。磁地層的建立最早起源於海底中洋脊玄武岩所記錄的磁力異常條帶。磁力異常條帶的紀錄反映出地球磁場在過去曾發生多次的倒轉，而在海洋沉積物以及陸上的地層也能經由所含的微小磁性礦物，如氧化態磁鐵礦(magnetite, Fe_3O_4)或還原態硫複鐵礦(greigite, Fe_3S_4)，記錄下當時地球磁場的正向或反向極性。

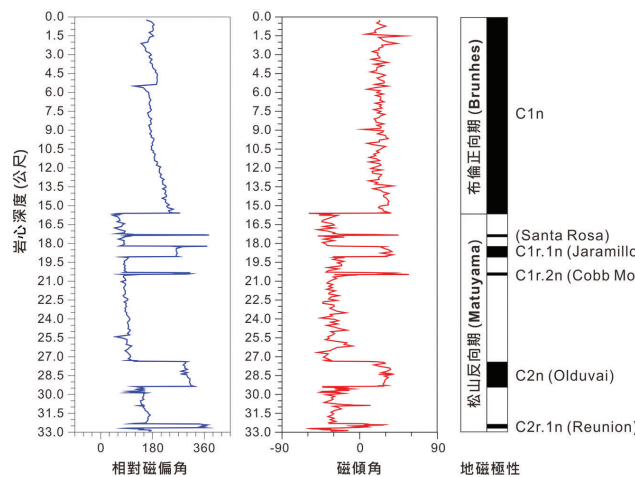
爾後的研究更顯示，地球磁極完成一次倒轉的時間大約不到1



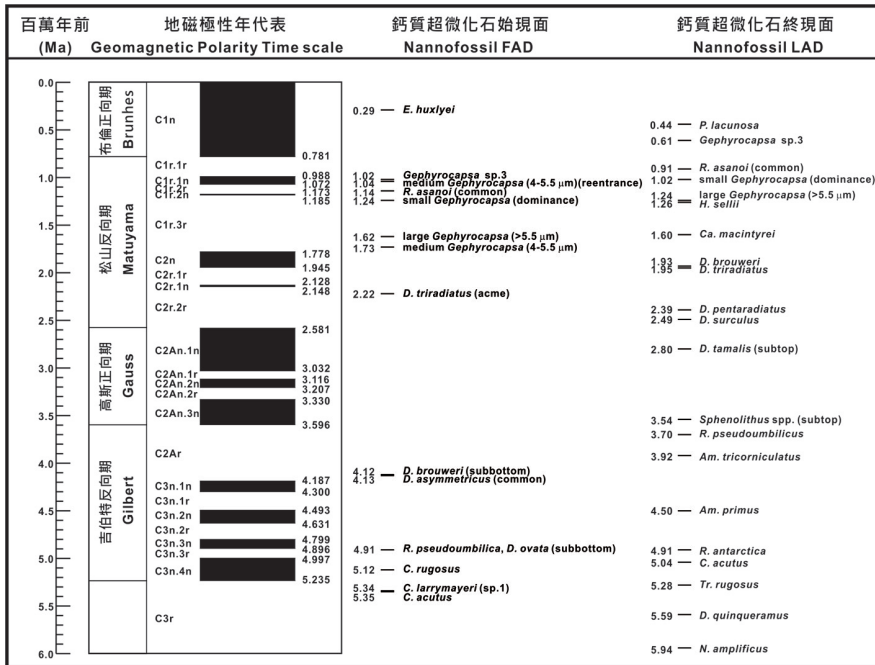
中洋脊的磁力異常條帶，顯示中洋脊兩側的海洋玄武岩地殼有多次的正向或反向地磁極紀錄。



掃描式電子顯微鏡下所觀察到岩石中氧化態或硫化態磁性礦物的產狀。左圖：澎湖玄武岩於岩漿冷卻過程中結晶出大小不一的含鈦磁鐵礦 (titanomagnetite, $Ti-Fe_3O_4$ ，灰色顆粒)；右圖：分布在臺南、高雄一帶的古亭坑層泥岩，其所含的黏土礦物於節理隙縫中經常生長出具有磁性的硫複鐵礦 (greigite, Fe_3S_4 ，白色顆粒)，此礦物是在還原環境下於成岩作用的初期階段形成。岩石之所以能記錄下過去地球磁場的性質，端賴磁性礦物才有此能力。磁性礦物在大部分的岩石中含量雖少 (低於1%的重量比)，但卻是對岩石之古地磁紀錄扮演著關鍵性角色。



取自西菲律賓海的一支海洋沉積物岩芯(MD97-2143)，其沉積物隨深度所記錄的相對磁偏角與磁傾角，顯示在不同地質時段有不同的正向與反向磁極紀錄。黑色與白色區段分別代表正向與反向磁極，有些正向與反向期賦予特定名稱，以便有所區別。

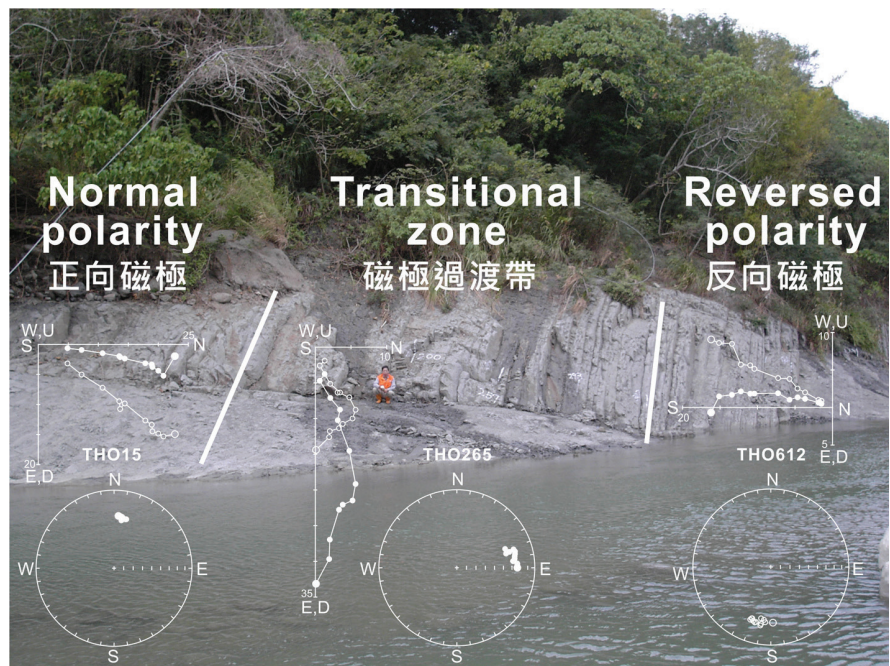


過去600萬年以來的地磁極性年代表，以及鈣質超微化石始現面與終現面之年代。

萬年，這相較於其他地質事件持續的時間可謂相當的短暫，且由於地球磁場的倒轉屬於全球性的現象，因此分布於世界各地的地層若能同時記錄下某一次的地球磁場倒轉事件，則視為同一時間面，可做為非常有用的地質時間對比工具。由於岩石放射性定年方法不斷改進，如由鉀-氬定年發展至氬-40/氬-39定年，使得誤差減少、準度增加，因此對於歷次地磁極倒轉的時間，其解析度已可達千年尺度，例如已知最近一次地磁極的倒轉時間發生在0.781百萬年前，而更早一次發生在0.988百萬年前。

上圖呈現的是過去600萬年以來地球磁場正向與反向磁極的

紀錄與倒轉發生的時間，稱之為地磁極性年代表(geomagnetic polarity time scale)。現今地磁極性年代表的建立雖可追溯至古生代的寒武紀，但年代愈久遠的紀錄，其可靠度通常較低，仍有待後續修訂。地球磁場維持正向或反向磁極的時間長短不一，長者可達數十萬年以上，而短者僅約1-2萬年，顯示地球磁場發生倒轉並無規律與週期性。另值得注意的是：自0.781百萬年前迄今，地球磁場始終維持正向的磁極，一



出露於臺東縣東河鄉馬武溪岸邊的大港口層具有正反磁極界面的紀錄，照片左側岩層屬於Olduvai正向磁極的頂部（1.778百萬年前），而照片右側岩層屬於Matuyama松山反向世代（小於1.778百萬年），中間區段則為正反磁極倒轉過渡帶。照片中展示取自三個不同磁極區段代表性樣本(THO15、THO265、THO612)的殘磁方向直角座標及赤道面投影圖。直角座標投影圖的實心圓及空心圓分別為殘磁於逐步去磁過程中經由岩石磁儀測得的磁偏角及磁傾角值，而赤道面投影圖的實心圓及空心圓分別表示去磁過程中殘磁的正值（水平線之下）及負值（水平線之上）磁傾角。

直未發生倒轉，這相較過去600萬年以來其他的磁極紀錄，現今的正向磁極已持續了相當久的一段時間，也因此有科學家提出地球磁場可能即將倒轉的看法。

磁生物地層學 (magnetobiostratigraphy)

「磁生物地層學」是結合「磁地層學」與「生物地層學」的一門學問。隨著磁地層學的興起，古地磁學家與古生物學家將指準化石在沉積地層中的始現或未現的基準面(first or last appearance datum levels, FAD or LAD)，藉由全球一致的正反磁極界面年代以及氧同位素曲線的天文軌道力周期的校準而獲得化石基準面的絕對時間，此一突破使得指準化石基準面由原先的相對時間概念演變成具有絕對時間的年代資料。而經由磁地層與生物地層兩者資料的結合，也大大提升了地質時間的控制點與解析度，這使得地質事件的定年或不同地層之間的對比更為精確，因此磁生物地層學遂成為近代測定沉積地層年代十分有利的工具。

在國內，中央研究院地球科學研究所設立有古地磁實驗室，其中一項研究工作是利用全球地

質學家共同建立的浮游性有孔蟲或是鈣質超微化石基準面的年代與地磁極性年代表相結合，來從事臺灣沉積地層與地質事件的精準對比與定年工作。此外，在從事磁生物地層研究時可以標定出正反磁極界面的地層位置，一旦

地層出露完整連續，則可用來進一步探究地磁極在倒轉過程時的性質與行為，而關於古地磁野外採樣所需的器材與岩芯之定向則如下圖。



古地磁野外採樣所需的器材與岩芯之定向。(a)以附加有1英寸直徑鑽石鑽管的電鑽在岩層中鑽取岩芯，於鑽孔期間將加壓唧水桶內的水注入鑽管中，以便將粉塵以泥漿帶出。(b)電鑽鑽孔後，將岩芯定向器的套管套入鑽孔中。(c)將岩芯定向器上之羅盤內水平氣泡調整至水平，並使準星對準套管上的方向線細縫，此時可記錄下準星線與指北針所夾的方位角，另外藉由量角器記錄下套管與水平面所夾的傾斜角。(d)沿套管細縫在岩芯上做一刻畫標記。(e)移出岩芯定向器，再以岩芯取樣器扳斷鑽孔內的岩芯並取出。根據岩芯上的刻畫標記畫下一完整的方向線。(f)將定好方向的岩芯置於樣本盒中，若岩芯發生斷裂則以套袋保存。