



趙丰曾任美國航太總署哥達德太空飛行中心的太空測地實驗室主任、中央大學地球科學院院長，現任中央研究院地球科學研究所所長；研究專長為地球與行星動力學、重力學、地球物理與地震學等。

地老天荒問幾何（一）



地球今年幾歲？要回答這問題，得先認識到它確實是個問題。
幾世紀的問與答之間，成了一樁糾結宗教、博物、地質、物理、化學的歷史公案。

剛慶祝過民國百年。想像回溯這漫漫百年100倍，我們來到一萬年前的石器時代。再乘100倍，差不多是地球準備進行上一次磁場倒轉之時；再100倍，則來到恐龍稱霸地球的時代。至此還只回溯了地球年齡的2%而已。地球有夠老，老得令人咋舌——地球今年46億歲。

這個數字我們是怎麼知道的？「地球的年齡」恐怕是地球科學進展史上最重、影響最深遠的科學公案。幾世紀來各方先知異士輪番上陣，從宗教、博物、地質、物理、化學等角度演繹了對此議題的高見，眾說紛紜、各持己見，往復攻防，精采不下三國演義，卻全落得個謬以千里。最終勝出的，是一支不相干的物理異軍，從斜刺裡殺來，揪出個完全出人意表的答案。

話說古早的東、西方文明，除了中國的盤古和西方基督教的《創世記》是持有「開天闢地」起始點概念的特例以外，大抵都視時間為循環流轉，無始無終（人生的輪迴、輪番的大洪水、馬雅長曆的換頁都是案例），「地球今年幾歲？」根本不成為問題，也無從回答。

隨著地理大發現和天文知識的進步，15~16世紀民智漸開，對地球在宇宙中的空間概念逐漸形成，然而對時間的概念依舊不甚了解。1650年，愛爾蘭主教鄂雪爾（James Ussher）根據聖經的字面記述，認定地球誕生於公元前4004年。這番現代人視為笑談之論，一方面不幸造成了

相當深遠的誤導，一方面也將「地球年齡」這議題正式端上檯面，一樁歷史公案如是開始。

躲不掉的當頭棒喝是在世界各處普遍可見的「化石」——這些千奇百怪的往古生物遺骸是哪來的？挾帶著它們的一層層岩石是怎麼回事？17世紀的丹麥人史坦森（Niels Steensen）可能是第一個有系統地觀察、推理，而正確認識沉積岩層裡化石的人。然而化石的存在，見證的只是地球短短6000年的歲月嗎？儘管隱隱作痛，當時的人仍舊抱持著簡單一句「上帝的作為」就大事底定的心態。

百年後，蘇格蘭人赫頓（James Hutton）這位被譽為現代地質學之父的偉大科學家，才真正參透了地形地貌背後的地質作用和變化，人類也才意識到：化石和沉積岩層竟是地球以它既獨特又極富創意的方式，撰寫成的一頁頁偉大史書！也必得從地球6000歲的那聖經式認定中完全跳脫出來，才有可能理解地質變化的滄海桑田、海枯石爛，和那必須經歷的天長地久、地老天荒。

當時工業革命正夯，到處有礦山、鐵道、運河在開挖，人們開始看到更多前所未見的地層，「地球有年齡」的信念於是加速深植人心。赫頓倒沒有對之追根究柢，也沒有預見化石上下分層、類聚的漸變，及其普世分佈的規律性。參透後者所代表的意義的，是「英國地質學之父」史密斯（William Smith）和法國人居維葉（Georges Cuvier），



有著這種地貌的地球，一定相當老吧！圖為美國大峽谷，厚達兩公里的岩層記錄了千百種古生物（化石）的興衰，因被流水切割而呈現出來。

他們利用沉積岩層和其間古生物（化石）興衰做為指標，建立了地層相對時序的邏輯（見下方〈地科教室〉）。然而，相對的時序雖然能夠確認「甲比乙老」，卻無法確知它們的絕對年齡。當時最有「見地」的地質學家，恐怕也只能虛心（或是心虛？）地說：地球總有幾千萬到幾億歲吧。

從地質古生物的時序可以清楚看出，生物體的複雜度隨時間而增加，

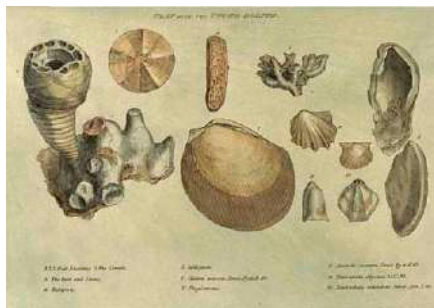
而某生物一旦滅絕就不再重現，在在表明時間是單向不循環的。這些無疑曾給予達爾文的物種演化論極關鍵的啟示。達爾文堅信物種演化的過程需要天長地久，絕不是短短6000年可以對付的。他抱憾以終，並不知曉地球的實際年齡對他要的天長地久而言，其實是綽綽有餘的。

地質學家、博物學家盡力了，物理、化學家呢？物理學家秉持的論證出發點是：太陽系的成員都是同時形成，混沌時期各行星在凝聚的過程中，重力位能都撞成了熱能，因此都處於灼熱狀態。那麼地球一路冷到如今這個狀態，需要多久呢？物體越大則冷得越慢，法國人布豐（Comte de Buffon）親做實驗，根據一系列大小鐵球的冷卻速率，鐵口直斷地球年齡是7萬4832歲，甚至斷言地球再過9萬3291年就會冷到無法居住。人們對此將信將疑。

地●科●教●室

世界各處的淺海，接受著陸源泥沙物質的沉積。隨著各地沉積環境不斷變遷，因時因地而不同的沉積物一層層堆積，在重壓下逐漸形成一層層水平的沉積岩層，越下層代表的越老。永不停歇的板塊運動使大面積的沉積岩層成為陸地（過程中岩層可能傾斜或產生褶皺，同時又開始遭受侵蝕），往往又如此輪番的滄海桑田、桑田滄海。

所以，我們看見的沉積岩層總是斷斷續續，然而都代表了往古的某些時段。當時的海生動、植物死後未爛的遺骸被掩埋於海底泥沙中，日久天長成為化石，夾在一層層沉積岩的「書頁」裡。海生物種不斷演化，並歷經了大大小小的物種滅絕事件，書頁也就成了生物興衰的走馬燈記錄了。蒐集全球各地的化石沉積岩層片段記錄，仔細拼湊、銜接、串連起來，一部完整的、有著奇異地名代號的地質古生物史型錄便建製完成，沉積岩層的相對年齡即得以判明。



地質學家史密斯1815年出版的英國地質圖集，列舉他蒐集、研究而且鍾愛的化石標本。

克耳文爵士（Lord Kelvin）接著進場。大師出手果然不凡，他將場景拉大，利用前述星球凝聚成灼熱的道理，加上熱力學的物理原理，推估太陽少不了一億歲、多不過五億歲。同理，他推算地球冷卻到如今已有9800萬歲；幾年後他將地球的年齡下修為2000萬~4000萬歲。克耳文爵士在科學界權高望重、一言九鼎，時人信服於他的物理推導，殊不知他出

發推算所假設的物理機制其實已是錯誤的！就這樣，地球這位LKK，在過去很長一段時間裡一直被正式誤認為是個少年郎。

另外還有一些蹊徑來「攪局」，雖然仍舊是謬之千里，卻是饒富創意。其一：月球對地球造成的潮汐摩擦，一面使地球自轉減慢，一面讓月球逐漸遠去。達爾文的兒子喬治（一位天文學家）根據這道理，假定地球形成時的自轉週期是3~5小時，推估地球的年齡當在5600萬年上下。這款誤估的差錯，因素包括潮汐摩擦的強度其實並不能夠「以今溯往」，因為它決定於陸地、海洋的地理分佈，而後者是隨著地表板塊運動而一直在變的。

其二：海洋接受陸地沖刷來的物質，包括了各種可溶解的鹽，海水的鹽度於是逐漸增加；這簡單的道理，可用以估計海洋的年齡，天文學家哈雷便曾這樣想。19世紀以至20世紀初，陸續有地球化學家仔細估算，得到的海洋年齡從2500萬~1億5000萬歲不等。不管其估計值是多少，現在我們知道，由於板塊運動對地球表面（包括海底沉積物）持續洗牌，現今海洋的年齡和地球年齡根本是兩碼子事，就像萬年鍋裡的高湯一樣，眼前鍋內的湯料並不能告訴你這湯是哪年哪月開始烹煮的。

地球到底幾歲？好像我愛看的「犯罪現場調查」（CSI）裡的一起凶殺案，不會說話的屍體現在就躺在員警眼前。現場血跡顯示情景A、凶器顯示B、鞋印顯示C；路人甲、乙、丙報告他們在暗夜當時看到、聽到些什麼，卻互相兜不攏；嫌疑人一、二、三號證辭零亂、語多隱晦；加上人權律師百般阻撓，檢察官不斷掣肘，媒體恣意報導，辦案人員精明幹練卻各有心結。案子辦成這樣，有希望水落石出嗎？有關鍵的DNA嗎？在哪裡？能一錘定音嗎？

下期續。

SA