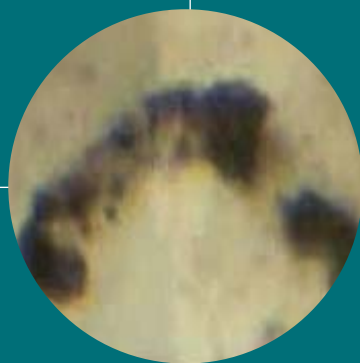


【生命科學】



試問生命到底有多古老？
是 33 億、35 億還是 38 億年？
科學家埋首冰天雪地與酷熱荒漠中，
尋覓古老岩層帶來的微小線索，
或許只是微小的石墨斑點，
只是肉眼不可見的顯微化石，
卻隱藏了盤古開天闢地以來的
生命奧秘與神妙奇蹟。

尋找 生命的 起源

撰文／辛普森 (Sarah Simpson)
翻譯／姚若潔 審訂／羅清華



在格陵蘭的伊蘇瓦，有些岩石保存了細胞在 37 億年前就已生存在地球上的證據，這個時間只不過是地球誕生後的數百萬年而已。這項證據已普遍被接受了，而格陵蘭與澳洲還發現更為古老的證據，例如本來認為是化石細胞的顯微曲線（如左頁圖），但是近來則遭到質疑。

史前生物似乎留下無數的證據來證明自己曾經存在，

它們以化石的姿態保存於古老岩石中：身軀笨重的恐龍溺死在氾濫的河流裡，大得嚇人的股骨嵌進含砂的泥岩中；一度生長在泥濘沼澤裡的熱帶蕨類，鋸齒狀的複葉夾進了烏黑發亮的煤層裡；彎彎曲曲的蠕蟲在泥質海岸地帶匍匐前進，其痕跡如今刻劃在鐵灰色的石灰岩上。我們不會把這些生命痕跡與它們周圍的「石棺」搞錯，但越是古老的生命，其葬身之處就越難以辨認。

早在生命開始能夠走動、爬行或是扎根之前，地球上到處散佈的是只有用顯微鏡才看得見的細胞。事實上，生活在大約 25 億年前的細胞，也就是在所謂的「太古代」（Archean Eon），其生命痕跡幾乎無法與周圍的岩石區分開來。在漫長且無情的時間之流中，它們被吞入地底又推升上來，就好像在壓力鍋內反覆煎熬，使得今日地表的岩石中已很少留有成為化石的細胞了。一般來說，地質學家必須轉而尋找其他形式的生命痕跡，即所謂的「生物印記」（biosignature）；有的印

記十分細微難辨，像是小如污點的碳構造，其偏斜的化學組成乃生物所獨有。

十多年前，地質學家開始使用高解析度的顯微鏡，於是在年齡高達 34 億 6500 萬年的地球岩石裡探測到明顯的化石。此舉幾乎把我們帶回生命誕生的那一刻，也就是簡單的無機分子首次自我複製，也開始與環境互動而發生選汰作用的時刻。1996 年又有了新的技術，得以檢測含碳樣本化學組成的微小差異，似乎更加肯定生命至少在 36 億 5000 萬年前就已經存在的猜測。同年，在南極洲發現的火星隕石找到 39 億年前的生物印記；此驚人消息一發佈，使得在岩石中探測古老生命微弱痕跡的科學家更受激勵，對自己的能力信心倍增。

但是這份自信並沒有維持多久。由於火星隕石上的證據幾乎都在抵達地球時便已燒毀，到後來僅剩一個從火星來的生命痕跡還在大聲疾呼，希望獲得承認（參見 78 頁〈來自火星的磁鐵〉）。2002 年初，在地

球上發現、本來廣被接受的證據也不能倖免；格陵蘭與澳洲發現的最古老生命的地質記錄，遭受多項研究的嚴重質疑，例如這兩處的地質經重新評估之後顯示，這些岩石形成的環境不可能有生命存活。有的人則質疑，無生命的化學反應有可能模擬出特殊的碳痕，或甚至微體化石的形狀，因此這些線索並非有用的生物印記。

質疑者的主張引發一場持續進行的爭論：誰能肯定自己可以正確鑑定出地球上甚至太陽系其他地方的原始生命？美國加州大學洛杉磯分校的古生物學家朗尼加（Bruce Runnegar）說：「如果我們不能把地球上的問題弄清楚，也就無法弄清楚火星上的證據。」2004 年初，美國航太總署（NASA）預計以兩具探測車檢驗火星岩石，屆時太空科學家必然也會把同樣的想法謹記在心。

從地獄歸來的生命印記

地球這個「藍色星球」上，最古老的（可以想見也是最具爭議性的）生命證據在七年前發掘出來，來自格陵蘭西南角叫做「阿基利亞」的一小片土地。這個位於首府努克南方 30 公里處的小島既寒冷且貧瘠，最寬的地方只有二公里，步行五分鐘就可以橫越。在那兒，在一叢叢厚厚的極地苔蘚與地衣之下，那極為重要的、富含石英的乳白色帶狀岩石，在鄰近深色火山岩板的襯托下閃著微光。科學家利用只存在於火山礦物中的放射性元素，為鄰近

如何尋找古遠的生命印記？

- 所謂的生物印記，是地球上古老的微小生命所留下的痕跡，許多痕跡嵌於岩石之中，十分細微難辨。如果地質學家能確認其母岩是在適合生物生存的環境下形成（例如淺海），生物印記就成為「生命存在」的可信依據。
- 在高溫高壓下，非生物化學反應可以模擬某些生物印記的形成過程。通常地底深處的岩石或從熔岩硬化而來的岩石，多半經歷過這些反應。
- 有些看似生物印記的痕跡，其起因仍有兩造不同的說法。未來無論是要在地球上、火星上或者其他地方尋找最古老的生命，關鍵都在於對地質能夠有精確的解釋。



在格陵蘭南端一個叫做阿基利亞的小島上，這塊岩石露頭中的白色岩帶藏有一些碳的斑點，原先被認為是比38億年還要古遠的生命痕跡。

的一塊石板定出年代：38億3000萬年前，今日地球上留存的最古老岩石之一。至於微微反光的白色岩石（裡面沒有可供定年的礦物），許多地質學家根據其所在位置推斷，生成的年代應該更古久。

阿基利亞的荒涼景致帶給人們一種印象，彷彿這些岩石自誕生以來就一直保持現在的模樣。但是，地球是一個不斷變化的地方，這些露頭和大多數太古代的岩層一樣，都經歷了地球上最嚴酷的地質過程之一：變質作用（metamorphism）。在地球歷史85%的時間內，這些岩石受到堆埋、扭曲、折疊甚至灌滿液體；它們被扯入地底幾乎70公里深，接受700°C的烘烤，然後還得歷經兩種以上不同的抬升程序，才會回到地表來。假設某塊岩石曾經位於海底並擠滿微小的生物，要想找到這些生物的完整痕跡，幾乎是不可能的。

而在1996年，地球化學學者莫契斯（Stephen J. Mojzsis，現於美國科羅拉多大學波爾德分校），卻從這些飽受折磨的白色岩石中瞥見生命的

可能性。透過掃描式電子顯微鏡之眼，他辨認出由石墨構成的小黑點；石墨是純碳礦物，當生物體受到加熱時，有時候會形成石墨。他也注意到，石墨周圍包裹著磷灰石的堅硬晶體，或許因此保護石墨免受嚴酷變質作用的摧殘。

除此之外，莫契斯進一步詳細分析了20多個小點，發現有特殊的同位素偏移率，這使他更有信心了。這些斑點全都檢測出豐富的碳12，是最輕也最普遍的碳同位素。活生生的生物是很重視節約的，當它們用二氧化碳做為活動的燃料時，採掘輕碳（light carbon）同位素的效率比碳13要高（碳13較重的原因在於每個原子核內多了一個中子）。這樣的偏好使生物擁有較多的碳12原子，比起溶在海洋中的二氧化碳多了約2~3%。

研究者以「輕碳印記」做為生命的標記，對數千個年代較近的岩石做測量，發表的結果均相當類似，因此這項標記在過去60年來一直受到支持而無爭議。而由於莫契斯的石墨樣本聚積了約3.7%的輕碳，對他

來說已經是完美的證據，足以說明這就是地球已知最古老的生命。這個結論還有另一項涵意，即生命起源於一個環境惡劣的時代，那時隕石的強力撞擊使得海水沸騰、使大氣在數千年間充滿由岩石蒸發而來的酷熱霧氣。目前任職於美國喬治華盛頓大學的費多（Christopher M. Fedo）便說：「的確，那時許多科學家都滿心同意，莫契斯的發現是解開地球一段未知歷史的鑰匙。」

一年後，也就是1997年，費多隨同莫契斯與幾位地質學家前往阿基利亞。費多回憶，一開始他的感覺就像是「參拜聖地」。但隨即，兩位年輕研究者開始以不同的眼光看待此地過去的景像，而且對於輕碳的真正涵意有了不同的解釋。莫契斯與他的同事原本推測，基於岩石的組成與結構關係，帶有石墨的岩石應該誕生於適合生物生存的環境，即海洋盆地，那裡的沙子與其他微粒（包括海洋生物細胞）形成一層層富含石英的沉積岩。另一方面，費多由於才剛在辛巴威花了一年時間測定太古代的岩石，現在他親眼看見這裡的岩石，立刻感到非常懷疑。他知道火成岩（由滾燙岩漿凝固而成的岩石）有可能看起來很像沉積岩，反之亦然，只要在變質過程中失去或得到關鍵的礦物就成了。費多說：「如果我們要了解生命，最好是先了解地質學。」

後來，費多與斯德哥爾摩瑞典自然史博物館的地質年代學者懷特豪斯回到阿基利亞，自己動手製作地圖並進行化學分析。去年（2002）春天他們發表結論，認為莫契斯等

人聲稱是古老沉積岩的那些富含石英的石頭，實際上是火成岩的殘留物，曾歷經某種特殊的變質過程，而已知這種過程會把非屬生物的碳轉變為石墨。費多和懷特豪斯堅決

認為，應該可用無關生物的過程來解釋石墨的輕碳印記。費多更斷言，不該只因為目前為止還沒有人能證實，就相信無機反應不能模擬輕碳印記的形成過程。

莫契斯、費多及許多研究者對阿基利亞的看法互不相容，問題出在地質實在太複雜了。也因此，丹麥哥本哈根大學地質博物館的野外地質學家羅辛 (Minik T. Rosing) 把阿

這些都是生物印記

在動物與植物崛起前，生活在地球上的是單細胞的微生物。科學家蒐集這些原始生物具體線索的方法，是在古老岩石中仔細搜尋它們留存的微小痕跡，即所謂的「生物印記」。但是如果這些痕跡也可以用非生物過程來解釋，那麼找到的線索就可能受到質疑，如下面所述的各項爭議。

輕碳

定義：碳 12 相對於碳 13 的比例，要比非生物物質的比例來得高；這個較高的比例顯示，生物把二氧化碳轉為細胞構造時，偏好使用碳 12。

最古老的證據：在格陵蘭的阿基利亞發現的微小破斑，位於超過 38 億年的岩石內。最近有研究提出質疑，認為其母岩形成的環境無法支持生命生存。因此，目前沒有疑義的最古老生命遺跡，是在格陵蘭的伊蘇瓦所發現的碳（左圖中的黑點），位於 37 億年前形成的岩石中。



疊層石

定義：一層層的圓丘狀結構，由微生物群體構成。

最古老的證據：在澳洲西北部發現，為形成化石的小丘，估計約 35 億年前形成。這是目前所知地球上最古老而肉眼可見的生命遺跡（如左圖）。多數其他同樣年代的疊層石是否為生命證據則尚有爭議，因為它們的構造較為簡單，很像是由非生物過程製造出來的礦物層。



微體化石

定義：遠古活細胞的殘餘部份。

最古老的證據：顯微鏡下可見、含碳豐富的絲狀構造（如左圖），在澳洲西北部 35 億年前的岩石中發現。最初這些構造被解釋為古老微生物的遺留物，但最近的研究認為，它們也可能由無生命的化學反應而產生。年代較近的微體化石，包括在加拿大發現的 20 億年前的藍綠藻，則被普遍接受。



輕硫

定義：硫 32 相對於硫 34 的比例，要比沒有被微生物利用過的硫來得高。這種元素是微生物的能量來源。

最古老的證據：發現於澳洲西北部 35 億年前的岩石中，是成份為硫化鐵的黃鐵礦斑點。有些研究者質疑，包覆著黃鐵礦的刺狀灰色結晶（見右圖），是否真的在生命可以生存的環境下形成。目前，這類生物印記確認無誤的最早記錄，約在 25 億年前形成。



分子化石

定義：與現今的活細胞相似的複雜有機分子。

最古老的證據：澳洲 27 億年前的岩石中發現的碳水化合物。這些分子源於形成化石的細胞膜，是最古老真核細胞（具有真正的細胞核）及產氧藍綠藻的證據，已毫無疑義。過了七億年後出現的一種藍綠藻 *Eoentophysalis*（見右圖），也許便是從這種藍綠藻演變而來的。



生物礦物

定義：由活細胞產生的礦物顆粒。

最古老的證據：發現於火星隕石 ALH84001，為形式獨特、有磁性的磁鐵礦（見右圖），幾乎與現今地球上某些細菌產生的磁鐵礦相同。咸認這些火星礦物形成於 39 億年前；還有相似的磁鐵礦結晶，在澳洲 20 億年前形成的岩石裡也偵測到。這兩個發現都還有爭議。

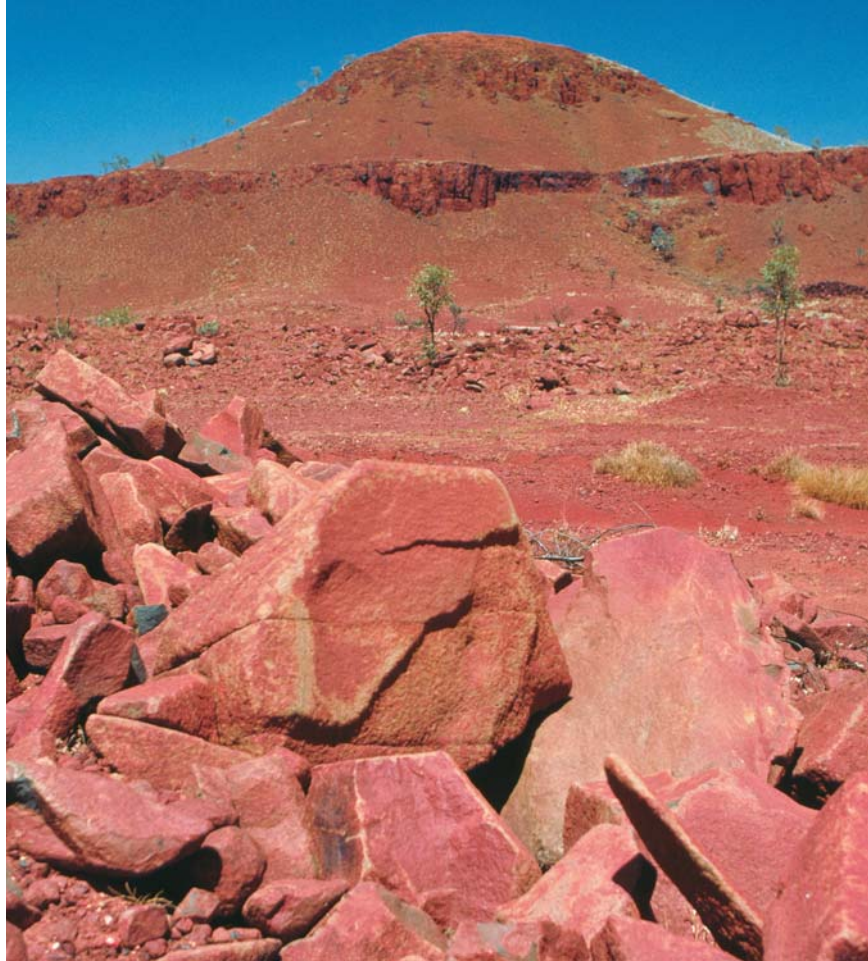


基利亞形容為「徹底無聊」。他說，沒有任何兩位地質學家對其岩層歷史有相同看法，因此「或許我們永遠也無法解決問題」。這句話出自一位格陵蘭本地人之口，而他已經花了超過 20 年的時間，研究這片冰凍土地的地質。

地質學是所有問題的答案

不過還有許多研究者不想停止爭辯，例如對朗尼加來說，阿基利亞差不多排在工作計畫的第一位。他是 NASA 天文生物學研究所的新任所長，這個研究所聯合了全美 15 個研究團隊，年預算幾近 2000 萬美元，致力追尋生命在地球與其他地方的起源與演化。他說：「這一、兩年內，我們計畫請來真正懂這些石頭的人，在我們採集的東西之中找出一點共識，好讓每個人知道其他人究竟在說什麼。」

然而羅辛與其他研究者，包括加州大學洛杉磯分校的古生物學家蕭普夫 (J. William Schopf) 都指出，就算科學家贊同阿基利亞石頭的前身是沉積岩，卻仍無法證實其中的碳來自何時何地。他們主張，在變質程度如此高的岩石中，輕碳 (事實上應說是石墨) 只能暗示「可能有生命」，其本身不足以構成證據。當沉積岩受到加壓加熱時，可能有液體從別處帶來年代較晚的碳，而且有機物的碳鍵也會開始拆解、重組，即使這些碳受到磷灰石堅硬結晶的保護也一樣。蕭普夫說：「在我看來，沒有任何好方法可以透過測量值來回推原始值。握有線索與知道某事完全是兩碼子事。」



澳洲西北部的皮爾巴拉地區，地表景觀有如火星，這裡藏有 35 億年前的顯微結構，有些人認為是古老細胞形成的化石纖維。

在格陵蘭另有一個更具說服力的線索，轉移了眾人的注意力。它是位於阿基利亞東北方約 180 公里處的伊蘇瓦，羅辛最近在那裡偵測到輕碳生物印記。相對於阿基利亞有如煉獄般的過去，他認為伊蘇瓦岩石只經歷了輕如「偏頭痛」的變質作用而已。這片礦藏可不好找，它是四公里寬的太古代岩層，沿著藍灰色格陵蘭冰帽硬塊的西緣延伸 35 公里。伊蘇瓦岩石的許多特徵，如特殊的光澤與彈珠大小的各式結晶，包括紅色的石榴石、黑色的角閃石、鼠尾草般綠色的透輝石等，在在說明它經歷的變質作用幾乎與阿基利亞岩石一樣強烈。

羅辛說：「我並不是去那裡尋找生命跡象的，而且我一向懷疑那些跡象的可信度。」他前往伊蘇瓦之

初，是因為想了解高溫流體如何使岩石發生變化。在這片只有直升機能到達的遙遠之地，從 1980 年第一次的實地研究開始，羅辛每次都停留一到三個月，在馴鹿、北極野兔與雷鳥之間已經反覆踱步無數次。密集的調查使他終於能夠區分並剔除火成岩，還有過度複雜而無法清楚保存生命痕跡的岩石。然後在 1999 年，羅辛描述了一個很有希望的古老沉積岩露頭，位置在伊蘇瓦西緣，其他的地質學家同意它的年紀應該超過 37 億年，很有可能與阿基利亞岩石一樣古老。而羅辛便在那兒發現了輕碳生物印記。

伊蘇瓦這部份的地質相對破壞較少，因此透露了關於沉積環境的重要細節，而這在阿基利亞是辦不到的。這些輕碳固定於層層黏土之

中，黏土應該接住不少向下沉入海底的生物微粒。岩石中也有很豐富的碳，厚厚的古老沉積岩中一直都有碳的存在，這層沉積岩代表了超過百萬年的緩慢沉澱過程。羅辛解釋，在這百萬年中，每日每夜，與今日微生物體內成份相同的碳，如雨點般降落到深海底部。

到目前為止，羅辛的基本詮釋並沒有遭受到嚴重的挑戰，而他已經著手為可能產生輕碳的微生物確定出特徵。朗尼加則說：「若要賭格陵蘭的生物證據，每個人都會把賭注押在這裡。」

但即使是格陵蘭最好的證據，也只提供了唯一一個生命跡象。一個

地點如果能同時提供多種線索，當然會更有說服力，而蕭普夫在地球另一端便做到了，他的詮釋成為里程碑，已經將近 10 年沒有疑義。

水淹或是火攻？

在所有可能的生物印記之中，最令科學家高興的，就是千真萬確的生物體化石，即使只有一、兩個細胞那麼大也好；在澳洲那看似時光停頓的地理景觀之中，就存有許多這樣的化石記錄。例如會產生氧氣的藍綠藻，已有毫無爭議的微體化石存在於 20 億年前的岩石中。另外還有所謂的分子化石，譬如在三年前找到的可信例子，是細胞膜內脂質成份所形成的複雜有機分子痕跡，已有 27 億年之久。但與上述令人興奮的例子比起來，蕭普夫的先驅性工作還把化石證據的時間往前推得更遠。花了 30 年時間致力研究古老的微體化石之後，蕭普夫在 1993 年為古早生命研究掀起一波新的浪潮。

如同格陵蘭，澳洲大陸上最古老的生命痕跡也出現於遙遠、荒僻的地區，在澳洲西岸港口伯斯市北方約 1200 公里處的古老景觀區。要不是小袋鼠在葉尖含砂、又刺又硬的濱刺麥間跳躍，或偶爾有家汽車旅館供兩輛髒兮兮的卡車休息，那麼這片佈滿沙塵與低矮山丘的澳洲西北地帶，很可能會被錯認為火星。在馬波巴鎮附近，在紅色荒漠中的一個小水坑裡，地質學家很久以前便曾在這裡描述過一種「頂燧石」(Apex chert)，而裡面正藏著蕭普夫著名的微小化石。頂燧石是沙子與

來自火星的磁鐵

從一塊太空來的石頭裡挑出可信的生命徵兆並不容易，但火星隕石 ALH84001 上的生物印記，最近則通過一連串的批評。

在過去七年中，美國休士頓市洛克希德馬丁公司的顯微學家湯瑪斯·凱塔 (Kathie L. Thomas-Keppta) 與她的同事，一直在鑽研下面這個想法：在這塊馬鈴薯大小的隕石中 (大部份人認為它在 39 億年前於火星上形成)，那些微小的磁鐵礦顆粒，與現今地球上某些水生細菌產生的微小磁鐵並無二致。

懷疑者則指出，就跟某些地球上公認的生物印記一樣，無生命的化學過程或可製造出類似生命的物質；而在這個例子中，當隕石仍在火星上時，它可能因為碰撞而由熱引發了轉變。但湯瑪斯·凱塔說，受到這種撞擊而產生的磁鐵礦應該會有雜質 (如鎂與錳)，而最近她與同事用新方法對火星磁鐵進行立體斷層掃描，可以確定她的磁鐵礦純度為 100%。

除了沒有化學雜質之外，ALH84001 的磁鐵礦中大約有 25% 還有至少五種其他的明顯特徵，與現今地球上的細菌菌株 MV-1 產生的磁鐵相同。舉例來說，兩者的磁鐵礦顆粒在同一大小範圍內，沒有明顯的結構瑕疵，還有特殊的延長晶形，可以增強磁性。如果火星的磁鐵礦顆粒有任何一項條件沒有通過，就不能再進一步考慮其為生物印記了。湯瑪斯·凱塔指出，這些條件十分嚴格，連細菌的結晶都差不多有 1/3 無法通過測試。

新的證據使她幾乎確定，微小的磁鐵就是火星過去生命留下的痕跡，但還有許多科學家沒有被說服。湯瑪斯·凱塔也說，只有單一的可能證據，她自己也不會滿意。她承認：「定義生物印記幾乎與定義生命本身一樣困難。」明年，她與同事要開始研磨這塊隕石，尋找特殊的硫化鐵礦物；目前已知地球上的細菌會製造這種硫化鐵。



隕石 ALH84001 於 1 萬 3000 年前撞擊到南極洲上。





疊層石，由微生物群落形成的塔狀結構，現存於澳洲西岸中部的鯊魚灣等地。這些構造大約於35億年前形成，是少數公認的、未遭受質疑的最古老生命痕跡之一。

小石頭的混合物，在火山側翼的淺海道中受到海浪攪拌混合而成。頂燧石和格陵蘭的含石墨岩石一樣，無法直接定年，但它夾在兩道可定年的熔岩流之間，形成時間分別是34億6000萬與34億7000萬年前，這使得蕭普夫的化石成為世界上最古老的微體化石（其他還有六種化石宣稱屬於太古代，包括在南非的四個地點發現的微體化石）。如果蕭普夫的珍貴收藏確實是生物所留下的，那麼對此微體化石做進一步分析也顯示它的多樣性是最高的，目前已辨認出11個微生物新種。

蕭普夫把頂燧石裡透露訊息的石墨斑點，稱做是「已故活細胞的絲縷」。支持的證據還包括頂燧石裡含量特別豐富的輕碳，以及鄰近形成化石的疊層石（stromatolite）；疊層石是礦化的細菌團所形成的小丘，

這是唯一一種用肉眼就可見到的太古代生命痕跡。基於這三重證據，於是從教科書到電視甚至《金氏世界紀錄》，都大肆宣傳這就是地球生命最古老的化石證據。

但是在去年3月，當地地質與化石經過重新解釋後，蕭普夫對於生命起源的這項著名看法卻被顛覆了。英國牛津大學的微體古生物學者伯拉西爾（Martin D. Brasier）與七位同事，針對蕭普夫1993年的結論，發表了第一份強有力的重新分析報告。伯拉西爾提出好幾項質疑，他特別強調，藏有假設中化石的燧石並非沉積於陽光充裕的淺海，而是在黑暗深海底的熱泉湧出處；這個差異相當嚴重，因為蕭普夫認為他的化石應該是喜好陽光的藍綠藻。但還有一個問題更大，伯拉西爾提出，許多被蕭普夫認為是

生命物質的顯微構造，可能根本是無生命的物質。

目前蕭普夫承認，他的錯誤出在依賴二手的地質定年資料來建構自己的故事。他也勉強承認，那聲名遠播的化石可能不是行光合作用的生物，而是嗜熱細菌的前身；這些細菌使得黃石國家公園熱氣蒸騰的間歇泉水池及海底火山顯得色彩繽紛。蕭普夫最近用一種稱為「拉曼成像」的技術，以散射光重新檢驗那些碳痕內部的立體結構。結果許多結構看起來很像是細胞壁。

但伯拉西爾仍舊堅稱，無生命的化學反應應該也可以聚集很多輕碳，這跟費多等人對阿基利亞的論辯很類似。這個議題沒有什麼決定性的研究可資佐證，但少數實驗確實顯示，當金屬與其他化學物質（例如在海底熱泉處含量豐富的化學物質）正確組合時，可能會啟動化學反應，模仿生物對輕碳同位素的偏好。雖然伯拉西爾也承認，某些碳的確代表微生物散佈各處的痕跡，但他強調：「你必須先證明它們非生物性的起源是錯的，才能接受它們是生物留下的。」

伯拉西爾等人會說，其他的生物印記也必須用同樣的方法來驗證，例如輕硫。從頂燧石那兒出發，往東北方開兩小時令人精疲力竭的車程，抵達名稱挺諷刺的「北極」區，那兒有34億7000萬年前形成的澳洲岩石，含硫量非常豐富，特別是有大量的硫32（相對於較重的硫34而言）；以硫為能量來源的細菌，其排泄物便有這種特徵。與碳一樣，「輕硫印記」清楚記錄了地球

歷史上曾出現的生命。但在澳洲西部這些非常古老的岩石中，同樣的問題再次出現：這些岩石到底是在細菌生活的低溫環境中形成的，還是在高溫處形成（可用非生物反應模擬細菌於此處形成的同位素組成）？美國華盛頓大學的澳洲地質學家布克等人支持前者，他們認為含硫結晶是在逐漸蒸發的潟湖中形成的，但不是每個人都同意此種詮釋，特別是朗尼加。

儘管爭議不斷，蕭普夫仍維持他的基本看法。他反駁說，雖然懷疑單一的生物印記是合理的，但不表示這個證據就沒有用。來自同一地點的一組生物印記，或許單獨看起來可能有爭議，合在一起卻是有力的一擊。他喜歡說：「如果看起來像生命、身處生命的生態環境、擁有生命的同位素，並符合所有生命所需的證據，那麼說它是生命就八九不離十了。」

截至目前為止，由於證據來源為生物或非生物均有可能，使得格陵蘭與澳洲那些最古老的岩石仍然複

雜難解。不過，你不用擔心科學家會失去辨認早期生命的能力，要知道，這些關於阿基利亞與頂燧石的爭吵，只針對最古老的生命跡象；這件事雖然重要，但並不是研究的全部。伊蘇瓦與南非特蘭斯瓦盆地岩石的年代只晚一點點，但爭議卻少得多。雖然許多科學家對於細節吹毛求疵，但是生命的久遠是大家同意的。

放眼地球以外

在這些爭議中，也許最重要的結論是這樣的：無論你研究的是地球上的古老岩石，或者是來自於其他星球的隕石，不要只憑單一把「冒煙的槍」做為你的論證。這樣的結論，對於要尋找地球上其他的早期生命，以及未來要詮釋火星上的證據時，都有著重要的涵意。伯拉西爾提出警告，如果還沒有「偵測早期生命的標準原則，就以機器人或真人來執行火星任務，必定導致無益的論戰，只是讓科學社群士氣低落而已。」

NASA 的科學家同意這樣的顧慮，因此他們在尋找過去生命之前，決定先好好辨識火星的地質。美國康乃爾大學的行星科學家斯奎爾（Steven W. Squyres）說：「想想看，野外地質學家在地球上爬行了超過 200 年，卻對可信的生物印記依然有爭議，那麼我們要對火星的生物印記進行可靠的研究，就差得更遠了。」

從 1997 年開始，斯奎爾成為 NASA 即將進行的火星登陸任務的首席科學家。這項任務將搜尋火星地表上的線索，尋找過去可能適合生物生存的環境。今年 5 月底至 6 月間，將有兩個可遙控的機器人地質學家「火星巡迴者號」（Mars Exploration Rovers）發射升空，並於 2004 年 1 月展開它們在這顆紅色星球上的野外調查工作。登陸地點已於 4 月 11 日公佈，目標是軌道太空船觀察到火星上可能曾有液態水的熱門地點，而液態水正是所有已知生命形式的共同需求。

格陵蘭與澳洲的經驗告訴我們，在地球上很難找到可資辨認的記錄，因為地殼板塊不斷運動，已經把這些記錄吞吐了 40 億年。而由於火星可能從未發生這樣的過程，研究者預言，除了少數幾次隕石撞擊外，其地表在這同樣漫長的時間裡，應仍完好無損。斯奎爾語帶諷刺地說：「如果火星上真的曾經有生命，證據可能好找得多。」 SA

延伸閱讀

1. **Evidence for Life on Earth before 3800 Million Years Ago.** Stephen J. Mojzsis et al. in *Nature*, Vol. 384, pages 55-59; November 7, 1996.
2. **¹³C-Depleted Carbon Microparticles in >3700-Ma Sea-Floor Sedimentary Rocks from West Greenland.** Minik T. Rosing in *Science*, Vol. 283, pages 674-676; January 29, 1999.
3. **Cradle of Life: The Discovery of Earth's Earliest Fossils.** J. William Schopf. Princeton University Press, 2001.
4. **Questioning the Evidence for Earth's Oldest Fossils.** Martin D. Brasier et al. in *Nature*, Vol. 416, pages 76-81; March 7, 2002.
5. **Metasomatic Origin of Quartz-Pyroxene Rock, Akilia, Greenland, and implications for Earth's Earliest Life.** Christopher M. Fedo and Martin J. Whitehouse in *Science*, Vol. 296, pages 1448-1452; May 24, 2002.
6. **Magnetofossils from Ancient Mars: A Robust Biosignature in the Martian Meteorite ALH84001.** Kathie L. Thomas-Keprta et al. in *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 68, No. 8, pages 3663-3672; August 2002.
7. 關於火星巡迴者號的消息，可參考美國 NASA 火星探測計畫網站的最新報導：
mars.jpl.nasa.gov/mer/newsroom/pressreleases/20030411a.html

辛普森 *Scientific American* 的特約撰述
姚若潔 台灣大學昆蟲學碩士，目前就讀於英國布萊頓大學視覺傳達博士班。
羅清華 台灣大學地質科學系教授兼系主任