

演化的化學

蘇賢錫

國立臺灣師範大學物理系

一、前言

生物是所謂演化的歷史產物。演化是什麼？生命的起源究竟怎樣？關於這些疑問，現在科學家能夠以分子為基礎來探究生命的起源。本文依據所謂「分子演化」的新研究領域來簡單介紹有關生命的起源與初期演化的研究方法，以及從分子來探討生物演化的分子演化中立說。最後，將眼光移到地球外，從宇宙的觀點來敘述生命起源問題，特別強調化學在這些領域的重要貢獻。

二、演化與化學

老師告訴我們說，我們是由猿猴演化來的，類似人類的大猩猩或黑猩猩是從更下等的猿猴演化來的或說進化而來的。這樣追溯演化過程，就能在原始的哺乳類或更加下等的動物中找到祖先。

這種想法——「演化」概念，可以說是比較新，自從英國博物學家及詩人達爾文（Erasmus Darwin, 1731～1802）提倡以來，不過經過130年左右而已。達爾文的演化論，現在歐美還有一部分人士反對在學校教授，但它在現代生物學中占中心教理的地位。生命起源的探討，可以說是對於演化的理解。

演化研究的中心，起初是以化石為中心的古生物學。化石的研究，使科學家明白有關生命歷史的各種現象。像恐龍那樣，現在已經絕滅的許多生物學種，過去確實存在了；我們動物的四肢，魚的鰭，及鳥的翅膀，是同一器官分別朝不同方向演化的結果；這

些事實都是根據化石研究出來的。

另一方面，現代的生物學，尤其是生物化學與分子生物學，使科學家相信，生命可以視作分子組成的機器。零件的構造與零件之間的交互作用，其分析能令人理解整個機器。於是，科學家開始不把演化的問題僅僅限制在手、鱗、翅膀等形態上的變化，而將細胞當做生物機器的零件來研究其成分與化學反應。以下介紹幾個關於這種研究的例子。

三、生命的起源

今天，研究生命起源的大多數學者認為，生命是單純的物質經過自然發生的反應而逐漸發展成為複雜的物質，最後到達生命的地步。具體而言，包圍剛誕生不久的地球（亦即原始地球）的大氣（亦即原始大氣），其成分（以往認為是甲烷、氨、氫與水蒸氣，但最近大多數科學家認為是二氧化碳、氮與水蒸氣）是簡單的物質，受到來自大自然的能量、雷、紫外線、火山、放射線等的作用而發生化學反應，結果產生胺基酸、核酸鹼、糖等能夠形成生物個體的基本原料。

科學家認為，這些有機物溶解在當時的海洋，結果原始地球的海洋猶如營養豐富的濃湯。在這湯中，胺基酸似乎彼此發生縮合反應而變成肽（peptides），繼續變成構造更為複雜的物質。尤其是在這過程中，可能出現類似蛋白質與核酸的物質。

最後，具有遺傳因子作用的核酸與具有酵素性質的蛋白質進入一個小袋（細胞）中，而科學家認為這時地球上誕生了第一個生命。

這種想法的要點是，物質逐漸變成複雜的狀態，類似生物由單純形態演化到複雜體系的想法，於是稱為「化學演化」（見圖1）。這可以說是將達爾文演化論的想法擴大到生命發生以前的世界。

起初，科學家以為化學演化的實驗研究非常困難，但在1950年代，美國芝加哥大學的年輕研究生米勒，首次實驗成功。著名的米勒實驗（見圖2）是在兩個連接的燒瓶裝置的上方燒瓶裝以類似原始大氣的混合氣體，而在下方燒瓶裝水以替代海洋。在上方燒瓶內，以放電來代替雷。

米勒操作這裝置達一星期之久，發現下方燒瓶內相當於海洋的水中，產生了好幾種胺基酸。後來的實驗顯示，製造生命所需的基本原料（核酸鹼、糖等）也產生出來了。

現在，科學家也研究海中的反應，發現類似蛋白質與核酸的巨大分子，以及類似細胞的袋狀構造物確實形成了。雖然如此，蛋白質與核酸究竟如何順利組合起來，目前仍

然不得而知。

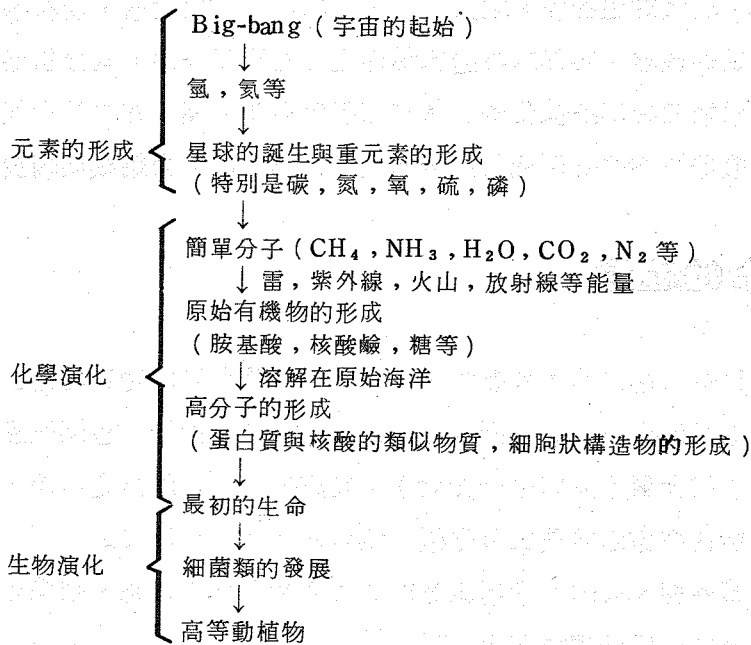


圖 1 化學演化的概念

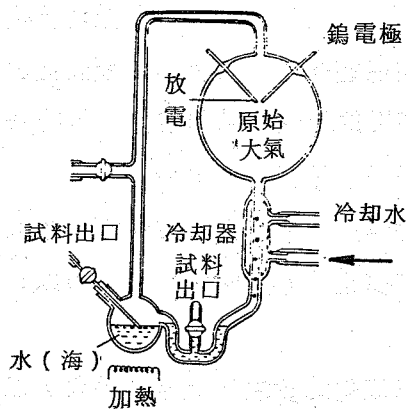


圖 2 米勒實驗

四、化石的追踪

化石的調查是研究演化的有力方法之一。然而，肉眼可以看見的化石、骨頭、牙齒等，只能追溯到 6 億年前。用顯微鏡始能觀察的化石，稱為微化石 (microfossil)。幾十億年前的事，要研究微化石才能明白。在微化石的研究中，化學扮演重要的角色。

第一是年代的決定。包括化石在內的岩石，只要調查其中所含的放射性同位素，就可決定其年齡。因為放射性同位素隨着時間的經過而依照一定比率變成其他元素，所以只要測定放射性同位素的量，即可算出岩石形成以來的時間。這完全依賴有關放射性元素的化學之進步。

放射性元素中，碳-14（要減少到原來的半量，大約需要 5000 年）可以用來探討往昔人類的遺跡。換言之，碳-14 可以用來決定數千年到數萬年的年代。欲決定生命的起源，則需利用壽命較長的鉀-40（要減少到半量，需時 12 億 6 千萬年）或鈾-238（減到半量，需時 45 億年）。

微化石的判定，也常常利用化學，看來像是化石的構造物，是不是真正微生物的遺骸，必須加以證明。有時要用氟化氫來溶解含有很多化石體的岩石片，再用化學分析的方法來查明剩下部分是否有有機物的存在。此外，也可以用雷射光來照射微化石，以便測定其拉曼光譜（Raman spectra）。

更加直接的方法是，分析岩石中的化學物質，來推定堆積當時所生存的生物狀況。所謂化學化石的這種方法，也可以適用在生命起源前後的古堆積岩，卻也可以用在骨頭或貝類的化石等比較新的化石，來分析其中的胺基酸。由此可見，為了瞭解生物演化的歷史，化學確實扮演了重要的角色。

科學家綜合這種古堆積岩的研究結果，認為生命歷史的大概時間表如下。首先，地球誕生在距今 45～46 億年前。至於海洋的誕生，不太清楚，可是一般認為大概在地球誕生後不久。最古老的化石是 35 億年前的東西。38 億年前的岩石中，有沒有化石，有沒有證據（化學化石）可以顯示生命的存在，科學家的意見並不一致。因此，一般公認，地球上的最初生命出現在距今 35 億年前到 45 億年前之間。

由化石來判定，具有光合成能的細菌，可能 35 億年前就存在了。可是，演化成為細菌以上的生物，出現在大約 15 億年前。在此之前，地球的海洋是單調的世界只有細菌。肉眼可見的大型生物，則出現在大約 6 億年前。生物爬上陸地的是大約 4 億年前的事，哺乳類扮演主角的是大約 64 萬年前，而人類是到了 500 萬年前才出現了。

五、分子演化

前面已說，生命是由分子所組成的機器，其主要零件有二，即遺傳因子的本體——DNA 與依照遺傳資訊來負責使生物的性格具體化之蛋白質。生物的演化就是 DNA 的

結構發生變化，結果蛋白質的化學結構改變，而新蛋白質的物理化學性質使生物的性格產生變化的過程。例如，在血液中負責搬運氧氣的蛋白質血紅素（hemoglobin），其結構類似無脊髓動物的肌球蛋白（myoglobin），因此，血紅素（血紅球蛋白）可能是肌球蛋白變化過來的蛋白質。

如此，調查現有的生物之 DNA 或蛋白質化學結構，即可追蹤演化的腳印，因而誕生了一門新學問——「分子演化學」。這也是因為 DNA 或蛋白質這樣巨大分子的結構能夠加以分析的結果，真是化學的進步所帶來的福音。

在分子演化的領域中，截至目前的輝煌成果之一是中立說。同樣的蛋白質，取自各種不同的生物種來比較，例如，從人類、猿猴、鯉魚、或狗採取其血紅素，依照其化學結構，尤其是依照胺基酸的排列順序來比較，科學家發現，結構的差異幾乎與生物種分歧以後的年代成正比。

例如，人類與猿猴的結構幾乎沒有差異，人類與狗卻是有好幾個地方的胺基酸不一樣，而人類與鯉魚則差異更大，可以說是與演化歷史的長短成正比。日本國立遺傳學研究所木村資生教授對這現象作數學上的分析後，提倡分子演化中立說，認為蛋白質與 DNA 所顯示的結構上變化，大部分沒有受到達爾文所說的自然選擇之作用。

根據中立說，只要分析蛋白質與 DNA，即可推定兩種生物開始分歧的時期。這樣分析分子而畫出來的系統樹，與根據化石所得的，頗為一致。中立說受到很多證據的支持，已經成為定論，對生物演化的分析，尤其是對缺乏化石證據的初期生物演化的分析，貢獻甚大。

六、地球圈外有機化學

正如米勒實驗所示，可以推定，構成生物所需的原料，可能在原始地球上容易合成。然而，這畢竟只是假設，需要更直接的證據。這種證據，或許沒有遺留在地球上。於是，這領域的研究人員開始把眼光移到宇宙。

1969 年以來，人類就把月球的試料帶回來加以分析，可是月球的岩石中，與生命有關的物質幾乎沒有，未能得到證據。接着調查火星，但這裡也沒有有機物的存在，對生命的起源，提供不了多少資料。

其次的目標是木星，木星大氣圈上層部分的主要成分是甲烷、氨、與氫。科學家已知，放電實驗可以合成與生命有關的化合物，例如硝醯（nitrile-CN）化合物（從這化合物可

以利用水解來形成活躍在生物細胞內的有機酸，如醋酸等），因此，研究人員的關心都集中在木星大氣的分析。科學家訂在 1986 年實施伽利略計畫，發射太空船來繞行木星，專門分析其大氣層。

除了我們發射太空船以外，也有對方送給地球的禮物，那就是隕石。尤其是 1969 年 9 月落在澳洲的馬吉生隕石，在不受到地球生物的污染之條件下，於專設的實驗室中接受分析。

分析的結果，科學家發現，馬吉生隕石含有甘胺酸（glycine），丙胺酸（alanine）等數種胺基酸，核酸鹼，以及其他許多可以構成生命的化合物。這些都是在地球外合成的，而不是受到地球生物個體污染的，這一點必須加以證明。這項證明分為三方面來進行。

首先胺基酸有好幾種，而生物常用的是其中 20 種左右，其餘很少用到。因此，如果是抵達地球後污染的，則胺基酸的數目應該在 20 以內。然而，馬吉生隕石中含有甲基丙胺酸（methyl alanine）這種生物罕用的胺基酸，而且甲基丙胺酸也是米勒實驗中的生成物之一。

第二方面是旋光性。除甘胺酸以外的胺基酸，都是具有旋光性，而生物只用 L 型的。因此，若是來自地球生物的污染，主要都是 L 型胺基酸才對。可是，隕石中的胺基酸是 D，L 大約各占一半的消旋物（racemate）。嚴密而言，L 型稍微多一點。這些多出來的，大概就是抵達地球後的污染了。隕石的表面上，L 型的較中心部分為多，表示表面略受污染而中心部分的污染較少。

第三方面，也是最決定性證據就是同位素比。今天，地球上的有機物是，植物由大氣中的 CO_2 利用太陽能來製造的。就存在於自然界的碳的兩種同位素（C-12 與 C-13）而言，植物的這種光合作用，有比較喜歡 C-12 的傾向。因此，生物有機物中之碳，比岩石圈的碳酸鹽含有較多的 C-12。馬吉生隕石中的碳，幾乎相同或稍微多於地球岩石圈的。

如此，隕石中的有機物是在地球以外的地方——可能曾經位於木星與火星之間的小行星上——利用自然界的能量來合成的。同樣的反應可能也發生在原始地球，而胺基酸積存於海洋。至少，這是首次證明，生命原料的合成發生在這太陽系內。

參考資料：「化學教育」第 34 卷第 1 號（1986）日本化學會