

知識天地

從貧瘠的過去、充滿生物的現在、到可預見的未來

梁茂昌（環境變遷研究中心助研究員）

在恆星的形成過程中，行星（如地球）的形成賦予科學家靈感去思索行星系統的形成，並引起生命出現有機化合物的合成。以太陽系為例，液態水的存在與固態行星基本上位於 10 天文單位以內（1 天文單位等於 1 億 5 千萬公里，是太陽與地球的距離）。因此，在氣盤（Gaseous Disk）消失前，在這區域行星形成的化學物理條件是最關鍵的。然，氣態太陽星雲的生命期小於 1 千萬年，這限制了科學家探索的機會。退而求其次的方法是去找出在原行星盤（Protoplanetary Disk）半徑剖面圖上的密度、溫度、化合物。然而，那需要高空間解析的資料，因此目前科技對此區域的瞭解是極有限的。另一個方法是觀測行星的化學物理組成。而系外行星的發現，對行星的形成機制提供重要而唯一的線索。

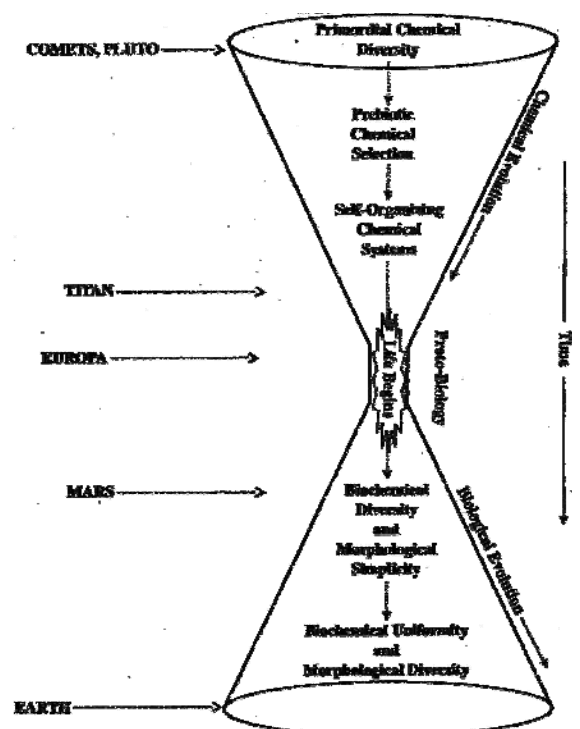
在彗星、流星及星際物質，科學家已發現許多有機分子。為避免直接暴露在紫外線輻射下，複雜的有機分子很可能在粒子表面形成。太空中有機化合物的發現不但開拓了我們的視野，也使「地球最初的生命來自於太空」之古老假說再度流行。最近發現生物可生存在極熱、極冷、極大壓力、極黑與有毒廢水的生物增廣我們的見聞，也顯示了生命是無所不在的。從太空中有機化合物及地球極端情況微生物的發現，我們得知：(1) 粒子表面化學是合成複雜分子的關鍵；(2) 生物的生存環境需要水。

圖為化學到生化演化的示意圖。太陽系中，除了地球之外，土星（Saturn）的衛星泰坦（Titan）是唯一具有氮氣層（1.5 大氣壓或 1.5×10^5 帕）的星體，甲烷約占泰坦大氣 2.5%。甲烷與氮之間的光化反應能產生大量的碳氫化合物及亞硝酸鹽。在早期的地球，如有類似的光化學，將可做為微生物的食物。與木星相似的歐羅巴（Europa）衛星，位於從化學領域到生化領域的變遷瓶頸上。Lunine 在 1999 年發表的論點：「歐羅巴可能有液態海洋的存在，能使生物存活，但適合生存的環境亦可能過於短暫，以致生物無法演化而停留在原始的層級。」歐羅巴需要熱源維持其液態海洋，此熱源可能來自於輻射加熱與歐羅巴形成時所留下來原始物質的再加熱。歐羅巴內部可能是岩石，有許多維持生命所必須的物質（如碳、氮、硫及稀有金屬），也可能透過彗星傳遞。

2005 年末，卡西尼號（Cassini）太空船（NASA 的土星任務）發現，土衛二（Enceladus，土星的衛星）在南極有噴出煙雲狀水蒸汽等不尋常活動。地熱能源將水推離衛星表面大於 80 公里，接著溫度梯度大於周遭環境時，透過岩石／液體界面的液體水將岩石的風化。隔絕的海洋（存在於歐羅巴的冰面下）在沒有光合作用或接觸大氣的情況下，達到化學平衡並消滅所有倚賴氧化還原的生態系統。在土衛二，透過水中岩石風化及其相應的放射性散發物，將構成生命。水的循環、化學氧化還原和地球化學循環的結合是生命的有利條件。

如圖所示，化學生化的下一階段就是地球演化。生命演化中的主要謎團之一為保護細胞免受氧化損害的酵素系統之起源。若無氧的光合作用，生命的演化到人類的出現便不會發生。在氧的光合作用形成之前，氧化損害之防護是必要的，但實際上這需要氧的光合作用。此問題可回顧 1977 年 Bill Schopf 在 UCLA 所註釋：沒有處理氧的酵素系統，光合作用所釋放出的氧將殺死自己。過氧化氫是個可能的解釋，因為它可當作氧化劑又是還原劑，並能為當時既有的無氧光合作用細菌所利用。不過，為使這類的新生命能被大量繁殖，相對應的大環境變遷是必須的。發生於原生代的低緯度冰川作用或雪球（Snowball）事件支持此一可能性。

冰河時期提供我們地球發展的歷史紀錄，兩個主要低緯度的原生代冰川作用顯示其對生命演化和大氣層中的含氧量有極大的關聯，22 至 23 億年前，古元古代 Makganyene 冰川



時期形成，介於 7.4 至 6.3 億年前的成冰紀時期也發生至少 2 次相同的低緯度冰川作用。古元古代的全球雪球事件也顯示出與氧光合作用與細菌的大量出現有高度的關係，新元古代中的冰河事件也與地質學家所謂的「寒武紀大爆發」息息相關。事實上「全球雪球事件」是否存在是倍受質疑的，然而，低緯度的冰川現象所帶來影響不容忽視，當冰河延申至赤道地區，全球平均溫度可能早已降至水的冰點以下，不但降低水循環更不利於生物生存。岩石紀錄顯示，大約在 23 億年前，大氣中與海洋中的含氧量一直處於底點，直到古元古代全球雪球事件發生，生物圈與水循環能力的減退導致大氣層中的含氧量減少。太古代時期所誕生的過氧化氫、氧分子以及太古代早期的冰河期是迫使趨向使用氧媒介以及使用酶的生物演化方向，也因此導致氧光合作用相關機制的出現。

理解生命的起源、演化、分佈，以及地球、太陽系、甚至宇宙間生命的發展是生物學的首要任務。土衛二的水循環、化學氧化還原梯度和地球化學循環過程，提供了適合生物生存的環境。根據我們天體對太陽系的瞭解，除了地球，這些適合生物生存的環境是不存在的。相較於火星、泰坦和歐羅巴，土衛二似乎是現在唯一除地球外可能適合生命生存的環境。早期的火星擁有水循環系統，但是沒有證據顯示它有現存的例子。泰坦雖然含有大量的有機化學，然而它提供的環境卻不利於生物的生存發展。現今的歐羅巴即使擁有水循環系統，但是在地質學的觀點上，封閉的化學系統排除了短時間內任何化學氧化還原梯度。因此，土衛二是目前太陽系中最令人期待也最有可能探索到生物的星體。

我們必須瞭解，欲複製出形同地球生命的機率是微乎其微的，這需要前文所提及之所有條件密切配合。然而，導致溫室效應的二氧化碳以及其他人為造成的污染物，近幾年間正嚴重地威脅著我們的生存環境。本世紀末二氧化碳的含量將增加為現今的兩倍，造成全球的溫度將增加 2~5 °C，導致水汽含量的增加並再次增強溫室效應。若我們繼續默視這種現象，我們的地球將會很快的變成表面溫度接近 700 °C 的金星。

原文請見本期英文電子報。感謝本中心研究助理黃怡之、李鳳梅和林易德將此文章翻譯成中文。

參考文獻：

1. Chyba, C. F., and Phillips, C. B., *Origin of Life and Evolution of the Biosphere*, 2002.
2. Davies, P., *The fifth miracle*, Simon & Schuster, 1999.
3. IPCC, *Climate Change: The Scientific Basis*, Cambridge Univ. Press, edited by J. T. Houghton et al., 2001.
4. Liang, M. C., Hartman, H., Kopp R. E., Kirschvink, J. L., and Yung, Y. L., *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2006.
5. Liang, M. C., Yung, Y. L., and Shemansky, D. E., *Astrophys. J. Lett.*, 2007.
6. Lunine, J. I., *Earth-Evolution of a habitable world*, Cambridge Uni. Press, 1999.
7. Parkinson, C. D., Liang, M. C., Hartman, H., Hansen, C. J., Tinetti, G., Meadows, V., Yung, Y. L., *Astron. & Astrophys.*, 2007.