

生命的起源

倪簡白

國立中央大學物理系

e-mail: jbnec@phy.ncu.edu.tw

(一)早期的地球：

生命是如何形成的?這問題一直非常神秘。我們若想仰賴早期化石及地質資料來考古，這很困難。因為在地球幾十億年的地殼變動中，地質的紀錄大半消失。所以我們就只能推斷了。根據目前的理論，地球剛生成(46 億年前)到 40 億年前這一段期間，曾遭遇無數的慧星或隕石撞擊(這一段時間太陽系剛生成有許多小隕石，小行星遊走於星際，撞擊比較頻繁)。大概是 45 億年前發生的一次最大的撞擊還使地球分裂出一大塊，成為現在的月球。這次事件可能是由一個約火星般大小的慧星造成的(它的質量約地球的 1/10)。撞擊後不久，地球應經歷很大的變動，而海洋慢慢形成了。在當時太陽也比較年輕，因此放出較少的光熱(有一說法當時太陽的光與熱約為目前的 70%此一學說尚待證實。天文上稱為 The Weak Sun Paradox)。所以地球表面應該大部份是在結凍狀態。至於生命是否存於在這一段時間，一直是個疑問。在以後的幾億年(40 億到 38 億年前 Archean period)，地球仍然不斷遭受撞擊。有好幾次是由 500 公里大小的慧星造

成的。它們使地表高熱，岩石汽化，而海洋完全消失了。以後的幾億年間慧星相撞仍然頻繁，但是規模小多了。由於在太陽系發生撞擊頻繁，因此有不少人相信地球的生命是外帶進來的。例如由火星隕石等外行星帶入的生命之說曾在近年相當流行。但是這些證據目前仍然遭受質疑。

(二)生命的起源：氨基酸

後期出土的化石中可找到微生物的跡象。而目前得知最早的生命大概發生於 35 億年前。由地球自己孕育出生命的講法至今仍被大家所相信。這個說法源於 75 年前一位年輕的俄國生化學家歐巴林(A. I. Oparin)。他認為早期(30 億年前)地球大氣完全無氧。但是卻充滿了還原性的氣體如氨，甲烷，氫等。太陽的紫外線與大氣中的閃電造成這些氣體分解，而後行成有機化合物，以及生命的要素氨基酸。

為了解生命的起源及歐巴林學說，1952 年芝加哥大學的二位化學家米勒(Stanley Miller)及尤瑞(Harold Urey)做了一個重要的實驗。他們的實驗是以簡單氣體包括氨、甲烷、氫及水蒸氣來做

介質，然後在容器中放電。這可能模擬了地球原始狀態。米勒及尤瑞的實驗成功的製成氨基酸，似乎證明以上理論及製造氨基酸形成方式。隨後又有許多人進行類似的實驗，使用不同的氣體組成或用紫外線代替閃電。這些成功的實驗也因此得到許多讚賞。但隨之而來的批評也不少。其中最重要一點指出原始大氣中氨的存量可能不像實驗中那麼多。例如我們現在大氣中氨就幾乎沒有(大概是空氣的十億分之)。其實空氣中有大量氮及氫，可以用來製造氨。所以米勒及尤瑞實驗若是正確的，那麼第一步還要能解決氫及氮來形成氨的問題：(應該由淨反應： $3\text{H}_2+\text{N}_2\rightarrow 2\text{NH}_3$)。

100年前哈伯首先解決工業上製氨的方法，那是利用金屬催化劑在高壓及高溫狀態合成。哈伯法製氨雖然可行，但自然界可能無法擁有高壓(500大氣壓)高溫(500°C)及金屬催化劑等條件。因此，生命起源的第一步一直無法突破。有人提議水中的鐵離子或沙漠中沙粒中的二氧化鈦均有催化作用，雖缺少高壓及高溫，過程很慢；但原則上仍在長時間將空氣中的氮轉為氨。可是這少量的氨一旦揮發到大氣中，應該很快就會被日光分解。在地球生命出現以前，大氣層稀薄，輻射應當很強(雖然那時太陽可能比現在弱30%，但是沒有大氣屏蔽，而氨分子對紫外光的吸收很強)。

最近一些實驗對這個問題可能提供答案。高壓，高溫及催化劑存在於深海之中。美國卡內基研究所科學家宣稱他們模擬深海中熱泉(噴發火山口)附近的狀況，可以製造出足夠的氨。這也許是1952年實驗以來的一大步。在深海之下的火山口附近溫度可達350°C。最近海洋生物學家也在熱泉附近找到許多生物。為數之多另人驚嘆。它們是靠硫化物

維生的[註一]。目前尚未有直接的實驗去證明海底氨的存量(氨可能很快被微生物所消化)。但我們可想像隨火山噴發出氣體中的氮與氫形成氨的可能。溶於水中的鐵會形成硫鐵化合物(FeS_2 或Pyrrhotite： Fe_{1-x}S)及氧化物(Fe_3O_4)等沉澱在火山口外。然後它們可作催化劑。

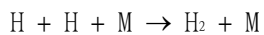
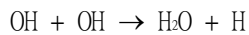
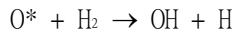
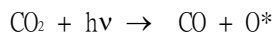
近年來有一些實驗支持此種說法，研究人員將上述礦物與氮，硝基及亞硝基化合物(NO_2^- ， NO_3^-)一起混在水中然後加溫。他們發現在500°C及500大氣壓下， Fe_{1-x}S (Pyrrhotite)可將90%之硝基於15分鐘內轉成氨。在350°C時轉化率為70%。在此種狀況下，即使海床中的玄鐵礦也有催化作用。

這個實驗很有助於決地球早期氨的形成問題。那時由於太陽只有現在70%的光與熱力，地球的表面多半在結凍狀態，狀況就很像目前的外行星如土星或其衛星。大量的氨形成後，它具有的溫室效有助於提昇地表的溫度[註二]。

(三)生命的要素：水與氧

地質上最古老礦物沉澱物可以追溯到38億年前。這暗示當時有液態水存在。又因為石灰岩(含有碳酸)可以在各年齡層找到，這證明大氣中也至少有二氧化碳的存在。二氧化碳可能是此一時期重要的氧化物。20多億年前原始生命(可能多半是藻類或單細胞生物)開始發生了，光合作用可能開始製造了氧(達到目前的1%)。氧氣提供紫外線屏障，這應可催化更高等的生命。這一種正反置，也許是造成大量氧氣的原因。當氧氣不足時，水提供紫外線屏障，使原始生命能夠發生。水是怎麼來的？也有人說地球的水是隕石帶來的。但是前面提到的原始氣體氨、甲烷、氫經氧化作用(這方面有 CO_2 ， N_2O

等)可以產生水。例如下列化學反應就會發生：



Net: $\text{CO}_2 + \text{H}_2 + h\nu \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}$

上式中 O^* 是一激發態，例如 $\text{O}(^1\text{D})$ 。若沒有 UV，以上反應不會發生。

其實大氣中氧的成份並非一直不變。有證據顯示氧氣在三億年前曾高達 40%，然後又降下來(根據森林煤炭化石記錄 O_2 相對於常量的 N_2 的變化是 10-40%，此一值認為相當穩定)。圖一是根據某些研究所獲得大氣中的氧的結果。注意三億年前氧氣的百分比。氧(O_2)的產生與生命存在有密切關係，否則它很難增加到目前的億分之一。在恐龍活動的年代(二億年前)氧氣可能都比現在多。生命的發生與進展大大的改變了大地的面貌。

直到五億年左右陸上植物才開始出現。這已經算相當近代了。此時氧已達到目前的 10^{-1} 。所以光合作用與呼吸是使氧氣在短期內大量增加的主要原因。這時生命的另一要素-臭氧也開始產生而且漸已達到現有的水平(目前臭氧層在 25 km 處峰值是大氣的 10^{-6} 左右)。因此它可以提供紫外線屏障。有了這些，陸上的動物開始出現。距今三億多年前，撫乳類動物出現了。

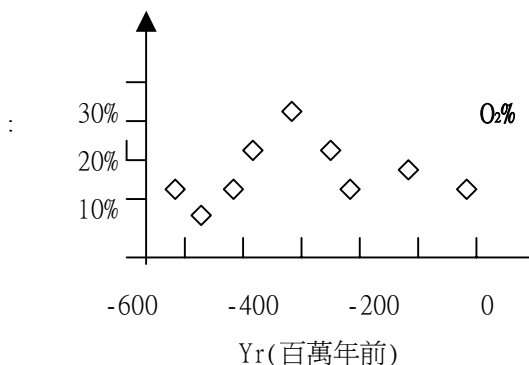
生命的發生不僅製造了氧也規範二氧化碳(CO_2)；它是一種溫室氣體。我們注意到在沒有生命的行星—例如金星(90 大氣壓， CO_2 佔 96%)及火星(0.7%地球大氣， CO_2 佔 95%)上二氧化碳單向增加成爲主要成份。溫室效應使金星地表溫度達到 700 K，火星是 220K。由於目前觀心人爲造成的溫

室效應，地球過去二氧化碳與大氣溫度的發展與關係是目前考古大氣學與考古地質學積極研究的重點。

總之種種過程造成目前一個具有大量氧氣與溫度 280K 的地球。這個條件少一點(例如溫度降了 10K) 都不會適合人類生存。這一切也許都是偶發的。可能幾十億年前一次閃電觸成原生物的發生，然後又來了一個小行星帶來一些重要的物質...。了解這些機制應該有助於改進人類的未來。

註一：有一種硫還原細菌(Sulfur reducing bacteria)相信與製造氧氣有密切關係。它可以將 SO_4^{2-} 還原。

註二：近年來有另一學說。主要是 Penn State, Prof. J. Kasting 提出的認為甲烷比氮重要，是溫室效應氣體。



圖一 地球氧氣的進化 (Ref. Berner et al. Science 287,1630, 2000).

參考資料

Science 281, 1936, (1998); 284, 2111, (1999); 287,1630. (2000).