

探索外太空生物的概念及方法

何耀坤

台南市私立光華女中

在宇宙中適合發生生命的地方有多少？生命在適合的環境條件下必會發生嗎？所謂生命或生物如何定義？生物從低等演化為高等，從物理學看來意義如何？如何探索地球外的生物？以上問題是介於天文學上和生物學上的有趣問題，我相信自然科學在這方面的研究和評論能引起青年學生的好奇心及學習的興趣。

一、宇宙與生命

近代天文學發現太陽不是宇宙的中心，而是屬於銀河系外圍的一個平凡星球，更發現我們的銀河系也不過是宇宙中十億星系中之一。我們的銀河系中約有兩千億個恒星，有的恒星具有行星系，這些行星中可能也有像地球這樣的生物或宇宙人。非常明亮的O型和B型星比普通恒星放出更多能量，它們核心的核融合反應速度比太陽快，能於短期間內耗盡能源進入演化末期，如O型星的壽命約為一千萬年（太陽壽命為100億年）。地球上的人類是經過幾十億年時間漸漸演化為知性生物，所以一千萬年對高等生物的演化，可謂時間太短。

恒星按其溫度之高低分為O型、B型、A型、F型、G型、K型及M型，太陽是屬於G型星。其中F型和G型恒星的行星系中，有高等生物存在的可能性比較大。

生物生存必在圍繞恒星的行星上面，而且該行星和中心恒星要有適當距離，要有不冷不熱的氣候。行星上要有適當的大氣，行星的大小要適當，而且能持續長時間，保持有利於生物生存的良好條件，這樣最短也要20億年，長需40億年以上的時間。星球太小溫度不夠高，星球太大發光就強，但是短壽的話，都不適合生命的誕生和演化。

太陽是中等大小的恒星，約有100億年壽命，這是使地球上發生生物最好條件之一。考慮以上這些條件，在銀河系內約有1000個至10000個星球，在全宇宙中約有一兆個星球，具有發生生命的適當條件。於1960年由F. Drake在美國西佛基尼亞州的Green Bank天文台用25公尺口徑電波望遠鏡，曾向兩個可能有生命的星球以低溫氫原子發出波長21公分的電波，花用400小時偵聽，這是著名的Ozma project（歐

斯馬計劃)，其結果雖無反應，但也算做外太空生物探索的第一步了。

二、關於生物或生命的定義

生物的基本特性是增殖，有了增殖作用才能增加地球上生物的數目及種類，而且由於反覆增殖在長時間中引起許多突然變異，並和生態環境發生作用而促進生物演化。生物能增殖，其內容中有適合目的性（德文稱 *Zweekmässigkeit*，請看下註）的「遺傳訊息的傳遞和表現」，以及「能量方向的轉換」。這問題的要點可綜合下列三點：

- ①地球生物的物质基礎及地球生物發生，對其他星球生物上的意義如何？②具有遺傳訊息的基礎物質 DNA、RNA 及蛋白質在地球生物，對宇宙生物學上的意義如何？
- ③能量方向的轉換，對地球生物和宇宙生物的意義如何？

探索太陽系諸行星後，可檢討地球上的生物在其他行星上有無生存的可能。在這問題上可發現所謂生物只限定於地球生物是不夠的，應以宇宙為對象論生物，並對生物或生命要有明確的定義。定義「生物」實際上很難，因為地球生物有千差萬別的形態和不同的有機組織，以個體為中心或以族群為中心，其看法不同，例如論病毒（Virus）是否為生物的問題。如果從各方面考慮看來一個沒有矛盾的定義，也許可以寫做「具有某種能力的個體，能抵抗環境的擾亂並能維護自己的生存者是生物」。

在這定義中雖然不含增殖能力及刺激反應，但是足以保持生物所獲得的機能。例如生物最顯著的特性是增殖能力，因為生物個體經一定時間後必會衰老死亡，所以要補充新個體。若個體適應能力趕不上環境變化時，就製少許能力相異的複製體給環境選擇，所以自然淘汰就是生物演化的原動力。因此生物演化必須依靠突變和自然淘汰，雖然增殖能力是生物的基本特質，所以不一定要列入一般生物之定義之中。

生物是開放性的，這是生物和其他物質不同之點，有人認為應列入生物定義中，但是我們認為這點也不過是保持生物個體機能的方法而已。生物體為了完成其機能，所以才有能量和物質的轉換，那時必須引起熵（entropy，是熱力學上的抽象的量之單位，表示亂度的程度）之增大，之後無法恢復原狀。若要恢復原狀，必需採取負的熵，實行物質的支出和輸入。現在生物的形狀和構造，例如動物要活動，所以要吃，必需負的熵。在我們周圍的事物中也有類似的情形，能量可以轉變，所以在生物定義中不必列入開放系。

總而言之，在研究能符合這種生命的定義之後，再看宇宙中各種物質，選出那些造成生物的基礎物質，這是宇宙生物學中所追求的主要目標。

(註)生物的目的性

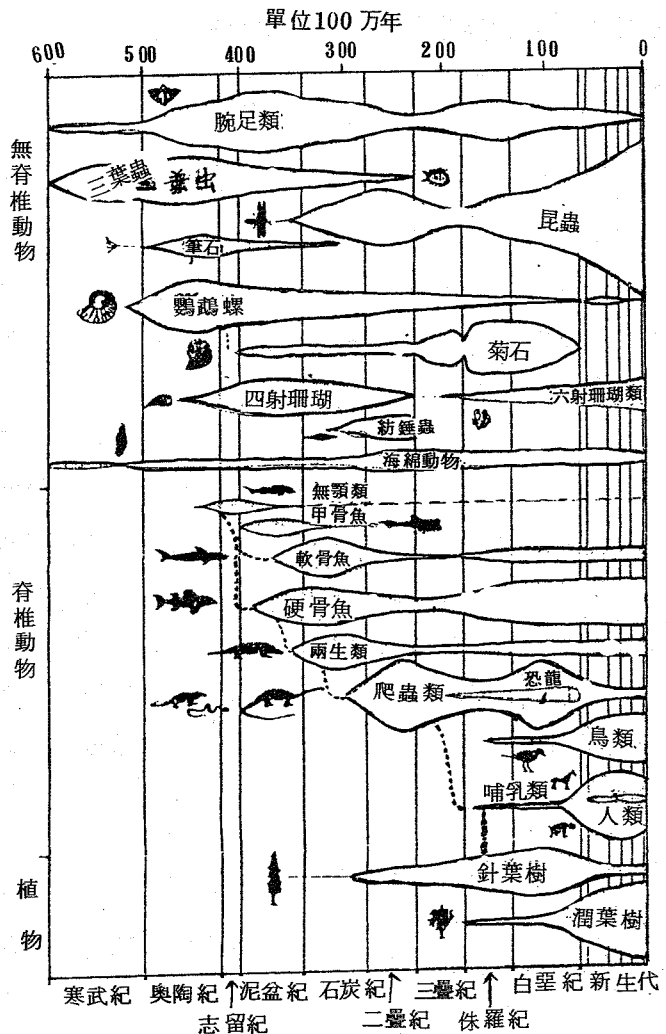
生命現象只以因果關係的分析，不能獲得其正確的結論。因為生命現象中所有的各種過程都趨向一定目的，即是所有的過程皆集中指向維持個體的發展。這種目的就是生命現象的基本特徵。

三、從物理學看生物演化的機制

我們相信在其他行星系若有生物，可能也有如圖一的生物演化樣式。這是我們地球的生物演化樣式，如果將各行星的生物演化樣式集合起來，就能製成一種銀河動物園。如果讓我們來比較一下這銀河動物園的生物變化到底如何？這是一件很有趣的事。

我們的演化法則可能其他天體也應能適用，假若這法則可以適用於其他星球的話，當然其他天體也會像我們地球一樣有生命演化的現象，就是有如圖一生物演化的階層構造。所以我們的太陽系提供了解釋其他天體也有生命存在的主要證據，是非常值得注意的事實。

因為環境因素能引導生物相似或相異情形，尤其環境對動物的影響之類似性，例如因為神經系的複雜化可



(圖一) 在地球上所引起的生物演化 (請注意以點線表示的相連演化的連鎖)

將動物分為高等的和低等的。動物體作用可用下式表示由化學系列和電能的系列所構成。

動物體 = 化學的複製 + 電能的系列

若在上式的總和中電能的系列部分愈占優勢，表示該動物在演化上是更高等。若其電能的系列愈相似人類，該動物愈高等，若具有比人類更複雜的電能系列的動物，應具有更高度的知能。因為動物不能像植物那樣容易合成氨基酸或醣類，所以要吃植物或其他動物以獲得這些物質，因此所有的動物可謂掠奪者，必依賴其他生物蓄儲的化學能。動物體的電能系列發達是為了幫助尋找食物，所以電能系列愈發達，愈能成為高明的掠奪者。動物演化經過數億萬年，促進其電能系列之複雜化，所以愈高等的動物是愈高明的掠奪者，人類恰好位於其金字塔的頂點。

人類的電能系列非常精巧，已超越食動植物之範圍，而更進一步侵入非生物的物质界。由於能使用火而能將枯木為能源，更延伸利用煤和石油。尤其近代更進一步能利用核能，是完全使用無機物質。我們相信同樣的發展在宇宙的許多地方也可能發生，因為其電能系列發展較容易。尋找食物需要眼睛，這也是演化上必然的。另如指甲、齒、角或使用武器系統的發展，需要有自覺性思考的頭腦。

太陽系內和宇宙間其他地方有什麼類似呢？在太陽光譜中黃光部分最強，若有動物具有比敵方對光敏感的眼睛者，在生存競爭中必有絕對優勢。凡具有對強光感受性良好的突變必占優勢，如我們的眼晴對黃光波長範圍最有效。我相信這種生存競爭的淘汰過程，在別的星球生物界也應如此。可是在別的星球上，其中心恒星（如太陽）所發出最強的色光可能和太陽不同，住在那地方的動物眼睛必對該色光有最好的感度。若星球的重力比地球小，空氣密度高時能飛行的動物在演化上會占優勢。

根據以上觀點，若某星球上有生物，可能有更廣泛的演化內容，但是演化的基本原則可能和地球一樣。

四、探索地球以外生物的方法

探索地球以外的生物有下列兩個方向：即是①從隕石和宇宙塵中探究含有生物性的物質。②去到其他天體探究生物性的物質，例如將研究人員送到月球，取回資料來研究，又如將實驗儀器裝置送到火星，在那裡分析資料，另有用分光學方法的研究。

(1)分析隕石

自數十年前已有隕石中含有機物之報告，尤其最近二十年來更有系統性的研究。在

隕石中的碳質球粒狀物質含有機化合物特多，其有機物雖含在原隕石中，但也可能受地球微生物之污染而滲入有機物。因此關於隕石中的有機物有下列三個問題：①非受地球有機物所污染的。②若是原在隕石中的有機物，到底是生物起源的或非生物起源的？③若非生物起源的，那麼由怎樣的化學作用造成的？

卡爾文（Calvin, 於1961年得諾貝爾化學獎）曾分析落在肯達基州的瑪列隕石，其總重量中約含2%的碳素，其中3%用有機溶劑可抽出有機物。以四氯化碳抽出的有機物用紅外分光分析結果，可證明有碳素鏈15個以上的碳化氫之存在，從水抽出的有機物在紫外線吸收試驗證明，有類似胞嘧啶（cytosine）的物質。

由於這些先驅研究之後，從1963年更有系統性的研究陸續出現。如於1962年由Nasir和Prigus等各用Orguiu隕石和Mocoia隕石實驗來證明，隕石中含有特殊生物之存在，認為是含微生物的化石。但是由於以後的研究證明，其大部分是非生物構造體，可能是後來受污染的。美國地球化學家游雷（Urey）更證明其中有的不是受污染的，認為可能是生物性的物質（1965年）。這些生物性物質都以氧化鐵和矽酸鹽岩石化，他用鹽酸，氟化氫，另用硝酸，過錳化鉀處理後其構造仍殘留。生物性物質以有機溶劑萃取後的物質，其在波長260~28 nm之紫外線的吸收的情形和地球生物相同。根據Nasie等檢驗報告，隕石中含有脂肪酸誘導體是左旋性，和地球上同一物質顯示逆旋光性（1964年）。Nasie等報告到底有多少可信度呢？若這是事實的話，那麼隕石中的某種微生物殘渣，的確是從地球外來的，可能是生物起源的物質。另由Barker等在隕石中更發現，有以釩（V）代替Fe的相似血紅素的物質（1964~1965年間）。

隕石中在無核酸鹽基方面，卡爾文更發現有腺嘌呤（adenine）和鳥糞嘌呤（guanine）之存在。日本早津氏在同一隕石中更檢出另有許多melanin鹽基，是在各種動物體表的黑褐色素，但是不存在於地球生物的核酸鹽基中，可能是生物起源物質，也許在地球以外生物的核酸中有腺嘌呤、鳥糞嘌呤和melanin等。在隕石的生物化學研究中可信度較高的是Marchson隕石（於1969年落在澳洲Marchson區），後來送到美國NASA的研究中心詳細分析，結果檢出甘胺酸（glycine）和麩胺酸（glutamic acid）外又有各種氨基酸，這事實難說是受到地球上的污染結果。

隕石內有機物不是受地球污染的話，則那些物質是生物起源的或那些是非生物起源的看法，現在還沒有決定性的見解，但是在宇宙生物化學上的確是有趣的問題。如果那些是生物起源物質，那麼地球以外之生物和地球生物之間在化學上有很大的類似性。若是非生物起源物質，則可證明在宇宙空間中由於非生物性之形成有機物，而產生和地

球生物的主成分同類的物質，同時證明和地球生物相同的基本化學物質是從宇宙環境來的。換句話說，地球上的生物是由於遺傳訊息傳遞工具採用了腺嘌呤和鳥糞嘌呤等，而這些工具其基本上是受宇宙空間化學作用的結果。也可更進一步證明，如果外星球有和地球類似環境，也可以演化有類似生物。

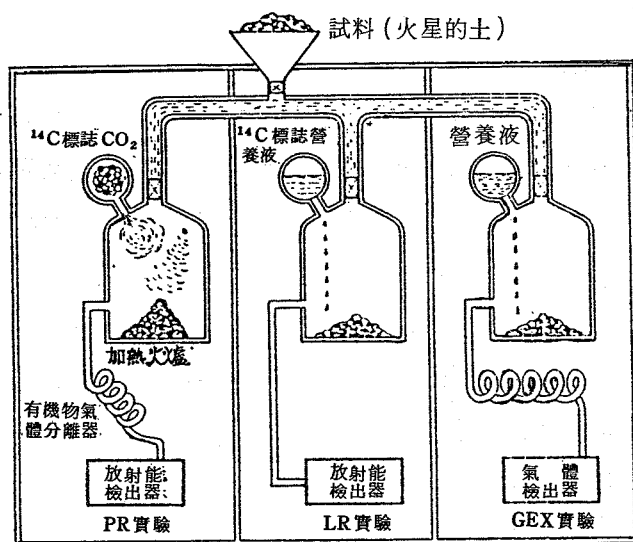
假如隕石中的有機物不是由生物起源所產生，其形成化學過程現在並沒有一致的結論。在隕石中的有機物含有很多脂肪族和芳香族碳化氫，尤其應該注意，在各國實驗室中以模型實驗正追究，其類似碳化氫的組成到底由如何條件形成？材料是 CH_4 或 CO ？那麼其能量是什麼？這些問題相信於不久的將來能獲得結論。

(2)其他的探索法

探索地球外天體的生物之方法，於現在或在最近的將來，用生物化學可作的很有限。若要探究太陽系外的生命體，必須假設具有高度文化之生物為對象，只能用遠距離應答方式，如歐斯馬計劃。在太陽系內具有高度文化生物的星球，就現在所知只有地球而已。近十多年來宇宙探測進步迅速，但以宇宙生物學方面而言，難說有大的進展，可是已經有了若干實驗，也算很有進步。

月球上是否有生物的問題，從來無人抱着什麼希望，但是對生命起源有關的前驅物質（如胺基酸、核酸鹽基或其重合體）之期待是有希望的。所以美國登陸月球計劃中就有月球岩石的有機物分析項目，結果所檢出的有機物之存量極微（於全碳素量為 200 ppm 左右）。可是對胺基酸的分析特別小心，據報告有檢驗出微量的，也有完全沒有檢驗出胺基酸的。總而言之，在月球上並沒有檢驗出原有的胺基酸是在化學演化中所生成的。

火星是在太陽系內除地球外最有可能存在生物的星球，所以在太空船海盜一號和二號登陸火星時，特別設計三種的生物探測實驗，如圖二。圖中的 GEX 實驗是氣體交換實驗，是將火星上的土壤和從地球帶去的營養液混合，看能否吸收



(圖二) 探查生命存在的實驗裝置 (自三發化成生命科學研究所)

O₂並排出CO₂，換句話，要看是否有呼吸作用。LR實驗是輻射能放出實驗，在以含有¹⁴C的營養液和火星的土壤混合後看有無排出含¹⁴C的碳化物；也就是看看有沒有代謝現象。PR實驗是熱分解物的實驗，是以含有¹⁴C的CO₂和火星土壤能否產生有機物（如光合作用或化學合成），而檢查將之加熱分解產生的揮發性物質中的¹⁴C。

擔任實驗分析的人員認為，這實驗起初都有正反應而被認為有生物之存在。但是以後用加熱的火星土壤（若有生物的話可能被殺死）來分析，好像有生物的反應。將火星的土壤中的有機物以氣體濾紙色層分析及質量分析結果，完全沒有有機物之反應（10 ppb以下）。在GEX實驗，火星的土和水混合時產生O₂，但是難以確定是由生物所做。於LR實驗從有機物隨時產生CO₂，於GEX實驗由於水隨時排出CO₂，可證明火星的土壤有很強的氧化力。從這些實驗雖然沒有生物存在的反應，但顯示有趣的化學問題。

以上的實驗雖然沒有顯示火星上有生物，但並不能證明火星上完全沒有生物，更須檢討今後的探索方法及觀測地點的選擇，如特別去火星的極地附近，採集火星的深層土壤，也許另有新的發現也說不一定！

自1960年代以後由於電波天文學之進步，發現在星際空間有許多有機物分子，其中有如氰酸、甲醛、乙醇等；也有如硫和氮等氧化物，如二氧化硫、Nitroxyl等。在彗星中有水、氨、氰酸、(CN)₂、CH₄、C₂H₂等，由光譜觀察可證明之。若將之和前述的隕石中的有機物比較，可證明在宇宙空間中廣泛存在有化學演化的第一階段的物質，因此如果有類似地球環境必能演化成地球型生物。

在銀河系中約有10⁸~10⁹個和地球類似的行星，那麼最少有數千或數萬個以上的行星上有生物，現在有許多天文學家和生物學家抱着如此希望。但是日本的野田春彥氏認為在行星上形成生物的或然率很低，也許地球是唯一有生物的星球。無論如何，現在我們所作的大多是沒有實驗根據的臆測而已。最少在太陽系內能確定除地球外其他沒有生物，那麼在太陽系外探索一般生命之存在，以現代科學而言暫時不可能。

主要參考書

T. A. A. EK H: 銀河系外天文學 地人書館

FRED HOYLE: TEN FACES OF THE UNIVERSE (1977)

江上不二夫: 生命よ探る 岩波書店

野田・日高・丸山等: 新生物學 講談社

甲斐敬造: 電波天文 恒星社